

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GISLAYNE DE SOUZA DE LIMA

**Categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados na
manufatura**

Maringá
2021

GISLAYNE DE SOUZA DE LIMA

**Categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados na
manufatura**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.
Área de concentração: Engenharia de Produção

Orientadora: Prof^ª. Dra. Francielle Cristina Fenerich

Maringá
2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

L732c

Lima, Gislayne de Souza de

Categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados na manufatura /
Gislayne de Souza de Lima. -- Maringá, PR, 2021.
165 f.color., figs., tabs., maps.

Orientadora: Profa. Dra. Francielle Cristina Fenerich.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia,
Departamento de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Produção, 2021.

1. Eficiência energética. 2. Indicadores de eficiência energética. 3. Categorização de
indicadores. 4. Indicadores de eficiência energética. I. Fenerich, Francielle Cristina, orient.
II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia
de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

CDD 23.ed. 620.00452

GISLAYNE DE SOUZA DE LIMA

**Categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados na
manufatura**

Dissertação de Metrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

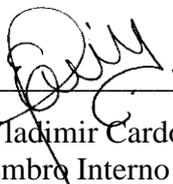
COMISSÃO JULGADORA



Profa. Dra. Francielle Cristina Fenerich
Orientadora / Presidente



Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira
Membro Externo



Prof. Dr. Edwin Vladimir Cardoza Galdamez
Membro Interno

Aprovada em: 26 de agosto de 2021.

Local da defesa: <https://meet.google.com/czy-yxma-tmp?hs=224>.

À minha família, pelo incentivo, ao meu
esposo grande colaborador e incentivador e
aos meus amigos pela compreensão nas horas
de ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me guiou e deu forças durante essa dura jornada, que me deu energia e saúde para superar as dificuldades e assim poder concretizar os meus objetivos. A ti, senhor toda honra e toda glória.

Agradeço aos meus pais Maria de Souza de Lima e Quitério José de Lima, que me incentivaram a continuar perseverante, pela compreensão, ao serem privados em muitos momentos da minha companhia e atenção. Ao meu irmão Anderson, e meu sobrinho Gustavo, que me trouxe o desejo de continuar vivendo.

Ao meu esposo que me apoiou durante todo o trajeto, com muito amor, carinho e muita paciência.

A minha vó Judite (in memoriam), que acompanhou o início dessa trajetória, mas que infelizmente não pode estar presente neste momento tão importante da minha vida.

Agradeço a Nelly, Rubya e Nayane, pessoas especiais que estiveram comigo durante essa etapa, compartilhando momentos e me incentivando a lutar e me manter firme para cumprir os meus objetivos.

Agradeço a todos os professores pelos conhecimentos proporcionados e por toda dedicação na minha aprendizagem. Em especial a minha orientadora Francielle Cristina Fenerich pelo suporte, pelas correções, orientações e pela paciência. Agradeço a compreensão, e auxílio na construção do meu conhecimento.

E a todos que diretamente e indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”
(Max Weber)

Categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados na manufatura

RESUMO

O desenvolvimento da eficiência energética na indústria é um fator muito importante, devido ser um dos setores com maior consumo energético, no entanto, as preocupações com a eficiência energética estão relacionadas, não apenas ao grande consumo, mas também a problemas devido aos preços da energia elétrica, o esgotamento de recursos e preocupações ambientais (COMISSÃO EUROPEIA, 2013a). Para que as indústrias consigam aumentar sua eficiência energética é preciso gerenciar de modo efetivo o consumo energético nos seus sistemas de produção, buscando meios de melhorar o desempenho energético e alcançar a eficiência energética. Para isso ser possível é necessário que indicadores sejam estabelecidos e aplicados, a fim de que os tomadores de decisão conheçam as informações e adotem as melhorias necessárias. O trabalho teve como objetivo selecionar e analisar, elaborar a categorização de indicadores de eficiência energética utilizados em ambientes industriais, presentes na literatura e a definição de um *framework* de categorização destes indicadores, sendo a proposta desse estudo avaliada através de entrevista estruturada, quanto a concordância com a proposta de categorização dos indicadores de eficiência energética. A metodologia aplicada nesse estudo foi desenvolvida a partir de uma revisão sistemática, realizada para o *updated* da agenda de pesquisa do trabalho desenvolvido por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). Com revisão sistemática, identificaram-se as publicações relevantes para o estudo, destacou-se um portfólio de publicações. Para o desenvolvimento da categorização foi realizado uma análise de conteúdo, baseada nas etapas sugeridas por Bardin (2011), dividido em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento de resultados. Na primeira etapa, buscou-se identificar os indicadores de eficiência energética, assim obteve-se uma listagem de 99 indicadores, identificando também as informações referente a cada indicador, quanto as características desses indicadores, o seu nome, descrição, fórmula de cálculo, variáveis e fonte. Na segunda etapa, foi realizado a categorização dos indicadores de eficiência energética, dividindo os indicadores em categorias e subcategorias de acordo com as características, aplicação e funções no ambiente industrial (DOUGLAS, 1996). Os indicadores foram categorizados sete categorias: setor industrial e regional; sistemas e subsistemas, e máquinas, equipamentos e componentes. As categorias foram subdivididas em dez subcategorias: desempenho, econômico, entrada, impacto ambiental, operação, perda, processo, recurso, resultado e saída. E ainda foram classificados nos níveis estratégico, tático e o operacional. Na última etapa de análise de conteúdo, foram descritas cada categoria e subcategoria, a análise das relações entre as categorias e subcategorias. Com a categorização dos indicadores foi desenvolvido o *framework* para representar a categorização dos indicadores, visando auxiliar os tomadores de decisão na definição dos indicadores de eficiência energética adequados a cada setor industrial. Os detalhes do desenvolvimento do estudo, metodologia, são apresentados no capítulo 3. A apresentação dos indicadores, a categorização e o *framework* são apresentados no capítulo 4. As conclusões alcançadas são apresentadas no capítulo 5.

Palavras-chave: Eficiência energética. Indicadores de eficiência energética. Categorização de indicadores.

Categorization of energy efficiency indicators applied in manufacturing

ABSTRACT

The development of energy efficiency in industry is a very important factor, as it is one of the sectors with the highest energy consumption, however, concerns about energy efficiency are related not only to large consumption, but also to problems due to energy prices electricity, resource depletion and environmental concerns (EUROPEAN COMMISSION, 2013a). For industries to be able to increase their energy efficiency, it is necessary to effectively manage energy consumption in their production systems, seeking ways to improve energy performance and achieve energy efficiency. For this to be possible, indicators need to be established and applied, so that decision makers know the information and adopt the necessary improvements. The study aimed to select and analyze, elaborate the categorization of energy efficiency indicators used in industrial environments, present in the literature and the definition of a framework for categorization of these indicators, and the proposal of this study was evaluated through a structured interview, for agreement with the proposed categorization of energy efficiency indicators. The methodology applied in this study was developed from a systematic review, carried out to update the research agenda of the work developed by Fenerich, Da Costa and De Lima (2017). With a systematic review, publications relevant to the study were identified, highlighting a portfolio of publications. For the development of categorization, a content analysis was performed, based on the steps suggested by Bardin (2011), divided into three steps: pre-analysis, material exploration and treatment of results. In the first stage, we sought to identify the energy efficiency indicators, thus obtaining a list of 99 indicators, also identifying the information regarding each indicator, regarding the characteristics of these indicators, its name, description, calculation formula, variables and source. In the second stage, the categorization of energy efficiency indicators was carried out, dividing the indicators into categories and subcategories according to their characteristics, application and functions in the industrial environment (DOUGLAS, 1996). The indicators were categorized into seven categories: industrial and regional sector; systems and subsystems, and machines, equipment and components. The categories were subdivided into ten subcategories: performance, economic, input, environmental impact, operation, loss, process, resource, result and output. And they were further classified into strategic, tactical and operational levels. In the last stage of content analysis, each category and subcategory were described, the analysis of the relationships between categories and subcategories. With the categorization of indicators, a framework was developed to represent the categorization of indicators, aiming to assist decision makers in defining the energy efficiency indicators suitable for each industrial sector. Details of the development of the study, methodology, are presented in chapter 3. The presentation of indicators, categorization and framework are presented in chapter 4. The conclusions reached are presented in chapter 5.

Keywords: Energy efficiency. Energy efficiency indicators. Categorization of indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia da pesquisa.....	48
Figura 2 – Classificação das publicações na agenda de pesquisa.....	52
Figura 3 – Processo de categorização dos indicadores.....	54
Figura 4 – Fluxograma de seleção das publicações.....	60
Figura 5 – Publicações por país.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de inclusão (I) e exclusão (E) de material.....	51
Quadro 2 – Indicadores de Eficiência Energética	67
Quadro 3 – Categorização dos Indicadores de eficiência energética.....	85
Quadro 4 – Número de indicadores nas categorias e subcategorias.	87
Quadro 5 – Portfólio de publicações da revisão sistemática.	137
Quadro 6 – Análise de conteúdo.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de classificação de sistemas de desempenho	33
Tabela 2 – Quantidade de artigos por periódicos	62
Tabela 3 – Quantidade de artigos por instituições de pesquisa	63
Tabela 4 – Avaliação das categorias.....	100
Tabela 5 – Avaliação das subcategorias.....	100
Tabela 6 – Avaliação das relações entre categorias e subcategorias.....	101
Tabela 7 – Avaliação do <i>framework</i>	102

LISTA DE SIMBOLOS

kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora (1 quilowatt (1.000watts) de potência gasta por 1 hora)
MW	Megawatt (um milhão de watts de eletricidade)
MWh	Megawatt-hora mil quilowatts-hora ou 1 milhão de watts-hora
TWh	Terawatt-hora (um trilhão de watt-hora)
W	Watt
Wh	Watt-hora
GW	Gigawatt (um bilhão de watts ou mil megawatts)
GWh	Gigawatt-hora (um bilhão de watts / horas)
ton.	Tonelada
%	Porcentagem ou relação de significância
t	Tempo (ano, mês, segundos, horas, etc.)
Kgce	Quilograma de carvão equivalente (intensidade de energia)
GJ	Gigajoules é igual a um bilhão de joules
\$	Valor monetário
J	Joule
Kg	Quilograma
m ³	Metros cúbicos
tCO ₂	Tonelada de dióxido de carbono (CO ₂)
TJ	Terajoule
tCO ₂	Tonelada de dióxido de carbono (CO ₂) equivalente
KJ	Kilojoule
MJ	Megajoule
seJ	Emergia
g	Gramma
mm ³	Milímetros cúbicos
h	Hora
BTU	Unidade Térmica Britânica
tce	Tonelada equivalente de carvão
s	Segundos
Ah	Ampère-hora
V	Volt
A	Ampère
m	Metro
CO _e	Monóxido de carbono equivalente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	PANORAMA DO PROBLEMA	17
1.2	OBJETIVOS	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	22
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	23
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	23
2.1.1	A eficiência energética na manufatura	28
2.2	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO.....	31
2.3	ASPECTOS GERAIS DE INDICADORES.....	36
2.4	INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MANUFATURA.....	40
3	METODOLOGIA.....	46
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	46
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	47
3.3	DELINEAMENTO DA PESQUISA	48
3.4	PROCEDIMENTO PARA SELEÇÃO NAS BASES	49
3.5	PROCEDIMENTO PARA CATEGORIZAÇÃO	53
3.5.1	Pré-análise	54
3.5.2	Exploração do material	55
3.5.3	Tratamento dos resultados.....	56
3.6	PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO.....	57
3.6.1	Seleção do participante.....	57
3.6.2	Roteiro da entrevista	57
3.6.3	Construção do questionário	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	59
4.2	ABORDAGEM DE CATEGORIZAÇÃO DOS INDICADORES	65
4.2.1	Indicadores de eficiência energética.....	66
4.2.2	Categorização dos indicadores de eficiência energética.....	85
4.2.3	Descrição das categorias.....	87
4.2.4	Descrição das subcategorias.....	91
4.2.5	Relação entre os categorias e subcategorias	94

4.3	<i>FRAMEWORK</i> CONCEITUAL	97
4.4	AVALIAÇÃO DA CATEGORIZAÇÃO E DO <i>FRAMEWORK</i>	98
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA	124
	APÊNDICE B – PORTFÓLIO DE PUBLICAÇÕES DA REVISÃO SISTEMÁTICA	136
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE CONTEÚDO	140
	APÊNDICE D – CARTA DE APRESENTAÇÃO	146
	APÊNDICE E – ROTEIRO DA ENTREVISTA	147
	APÊNDICE F – TERMO DE CONSENTIMENTO	148
	APÊNDICE G – CARACTERIZAÇÃO DO PARTICIPANTE	149
	APÊNDICE H – APRESENTAÇÃO DO ESTUDO	150
	APÊNDICE I – AVALIAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i> DE CATEGORIZAÇÃO	153

1**INTRODUÇÃO**

No Brasil, por volta da década de 1970 depois da crise do petróleo, as questões sobre eficiência energética e conservação de energia começaram a ganhar maior importância e desde então, de acordo com Frozza (2012), as indústrias vêm enfrentando novos desafios tanto para otimizar seus processos e reduzir os seus custos nas unidades de produção, bem como para atender as legislações. Nos últimos tempos, houve um crescente interesse pela gestão de energia e a eficiência energética industrial tem sido um tópico de pesquisa analisada de forma sistemática e abrangente. Por isso, o envolvimento da indústria é a chave para atingir metas de gestão, pois a indústria é responsável por uma parcela considerável das contas finais de consumo de energia de uma sociedade (COMISSÃO EUROPEIA, 2013a); (CAGNO; RAMIREZ-PORTILLA; TRIANNI, 2015).

Segundo Sbardelotto (2018) a busca pela otimização e racionalização dos recursos energéticos são fatores extremamente importantes para um melhor aproveitamento desses recursos. Uma vez que a indústria é grande usuária de energia, providenciar a melhoria da eficiência energética é uma estratégia vital para obter melhores resultados e diminuir os custos operacionais. Sendo que a importância da eficiência energética nas indústrias está fortemente ligada à segurança comercial e energética, desempenhando um papel significativo na sustentabilidade social, desempenho econômico e proteção ambiental (LI e TAO, 2017).

A prática da eficiência energética para Monteiro (2013), está associada a uma melhor utilização da energia, tanto para novos sistemas quanto para os existentes, pois um processo de gestão eficiente começa com uma compreensão e medição do consumo de energia, e na incorporação desta análise nos processos de tomada das decisões. Uma vez que segundo WEC, (2006), a eficiência energética é definida como a relação entre saídas de desempenho, serviços, produtos ou energia e a entrada de energia. Além disso, de acordo com Andersson, Arfwidsson,

Thollander (2018) a adoção de práticas de eficiência energética é uma estratégia para conscientizar os setores industriais quanto a energia sustentável, sendo o consumo energético a principal causa das crescentes emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) e de mudanças climáticas (TANTISATTAYAKUL *et al.*, 2016).

O gerenciamento energético é necessário não só em relação ao custo, mas também na sua melhor utilização para a otimização do processo, e isso também influencia na preservação do meio ambiente, relacionado aos sistemas de geração de energia e distribuição, pois segundo Tuo *et al.* (2018, p.174), a “avaliação da eficiência energética desempenha um papel crucial na redução do consumo de energia e melhora a eficiência energética”. Ainda conforme afirma Palm e Thollander (2010) existe uma “lacuna de eficiência energética” entre o potencial de melhoria da eficiência energética e o que é implementado na prática, que envolve diversos fatores. O que desta forma, leva a necessidade de mudanças de comportamento na indústria, em especial, a busca por uma melhor gestão e controle dos recursos energéticos, otimizando os processos e diminuindo os custos operacionais (CIMA, 2006).

Segundo Li e Tao (2017) a eficiência energética não é facilmente avaliada com precisão, porque é uma atividade abrangente, está relacionado a custos de fonte de energia, eficiência tecnológica, investimento de capital e mão-de-obra, etc. Existem fatores de incerteza significativas no setor industrial que aumentam a dificuldade de definição de estratégias de conservação de energia, como macroeconomia, estruturas industriais e incertezas técnicas (RIBEIRO e ALVES E SILVA, 2018) e (WEN *et al.*, 2018).

A avaliação da eficiência energética foi abordada inicialmente por Patterson (1996), que iniciou o estudo da aplicação dos indicadores, termodinâmicos e econômicos, aplicados as políticas econômicas. Phylipsen, Blok e Worrell (1997) abordou indicadores econômicos e físico, Tanaka (2008) aborda os indicadores de eficiência energética focados na indústria, mas ainda com objetivo de discutir suas vantagens e desvantagens em relação ao seu papel relacionado aos modelos políticos.

Bunse, Sachs e Vodicka (2010) selecionaram em sua revisão uma série de indicadores de eficiência energética na manufatura e classificaram de acordo com seu tipo e aplicação, em nível agregado e desagregado, nível de processo, comparação, equipamentos, integrando os indicadores aos níveis de tomada de decisão. Irrek e Thomas (2006) definiram indicadores em relação a intensidade energética, grau de eficiência e melhoria da eficiência energética final. Hoang, Do e Iung (2017) caracterizaram em seu estudo os indicadores de eficiência energética no nível de componente e função / sistema, de acordo com os níveis de abstração e suas aplicações, se concentrando em indicadores de eficiência energética na manutenção preventiva.

A elaboração desse estudo foi fundamentada a partir de uma revisão sistemática, sendo a revisão sistemática um método eficiente devido a sua abordagem transparentes, estruturadas e abrangentes, por meio da adoção de estratégias de pesquisa, sequências de pesquisa predefinidas, bem como critérios de inclusão/exclusão. A partir da revisão sistemática, que aborda a eficiência energética na indústria, e foi realizada para o *updated* da agenda de pesquisa do trabalho desenvolvido por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). E dentre as categorias abordadas na agenda, identificou-se as publicações relevantes para o estudo, destacou-se um portfólio de publicações relacionados a temática de indicadores de eficiência energética.

De acordo com Borschiver (2007), o uso de indicadores adequados de eficiência energética, é uma forma de gerenciar o seu desempenho energético, para que possam ter uma perspectiva melhor da sua performance, podem ser usados como guias para apoiar a tomada de decisões. Desta forma, desenvolveu-se este trabalho como objetivo realizar a categorização dos indicadores de eficiência energética utilizados em ambientes industriais, presentes na literatura, com base nas suas propriedades e aplicações, fornecendo uma visão da aplicação dos indicadores e para fundamentar a definição de indicadores pelos tomadores de decisão. Com o intuito de se conhecer o material de estudo, foi realizada uma análise bibliométrica, na qual apresenta um panorama das publicações sobre indicadores de eficiência energética selecionadas na revisão sistemática, identificando os autores, países das publicações, instituições, periódicos, citações, palavra-chave e a área de estudo da publicação.

A metodologia aplicada para a análise de dados, para a seleção e categorização dos indicadores de eficiência energética, é a análise de conteúdo, utilizada de acordo com Moraes (1999) para descrever e interpretar o conteúdo de diferentes tipos de textos, facilitando a análise das informações. Sendo a análise do conteúdo realizada nesse estudo baseada nas etapas sugeridas por Bardin (2011), dividido em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento de resultados.

Na análise do conteúdo buscou-se identificar os indicadores de eficiência energética aplicados a indústria, e a partir das publicações selecionadas, obteve-se uma listagem de 99 indicadores de eficiência energética presentes nessas publicações, identificou-se as informações referente a cada indicador, quanto as características desses indicadores, o seu nome, descrição, fórmula de cálculo, variáveis e fonte.

Na etapa seguinte da análise do conteúdo pretendeu-se realizar a categorização dos indicadores de eficiência energética estabelecendo uma divisão em categorias e subcategorias de acordo com as características apresentadas pelos indicadores e sua aplicação em diferentes camadas, de acordo com suas funções no ambiente industrial, possibilitando assim a

representação da sua aplicabilidade (DOUGLAS, 1996).

Os indicadores foram categorizados em diferentes níveis de aplicação com o intuito de simplificar a informação, fornecendo uma visão da aplicação dos indicadores e para fundamentar a definição de indicadores pelos tomadores de decisão. A categorização dos indicadores está dividida em camadas, em termos de funções e uso de energia, retratando uma hierarquia de indicadores de eficiência energética, foram definidas sete categorias denominadas de setor industrial e regional; sistemas e subsistemas, e máquinas, equipamentos e componentes. Foram definidas dez subcategorias são essas desempenho, econômico, entrada, impacto ambiental, operação, perda, processo, recurso, resultado e saída. E ainda com o intuito de analisar a empresa como um todo os indicadores foram classificados nos níveis estratégico, tático e o operacional, direcionada aos níveis estratégicos organizacionais para alcançar um diagnóstico mais detalhado.

Na última etapa de tratamento dos resultados, foram realizadas as análises da categorização, fazendo a descrição de cada categoria e subcategoria, identificando a qual categoria e subcategoria os indicadores pertencem. E ainda foi realizado a análise das relações entre os níveis de decisão, as categorias e subcategorias, para identificar as relações entre os níveis de avaliação dos indicadores e como elas estão relacionadas as estratégias organizacionais. Com a categorização dos indicadores foi desenvolvido um *framework* representativo dessa categorização, visando auxiliar os tomadores de decisão e analistas, no diagnóstico, controle e na identificação das necessidades para melhorar o desempenho energético da indústria.

A avaliação do trabalho se deu através de entrevista estruturada, com um profissional atuante na indústria, com a aplicação de um questionário estruturado, onde foram avaliadas a proposta do trabalho de modo objetivo, possibilitando a obtenção de dados a partir do ponto de vista dos pesquisados, onde foram coletadas as informações e as sugestões quanto ao estudo.

Este trabalho resulta em uma lista de indicadores de eficiência energética e suas propriedades, fornece uma *framework* de categorização desses indicadores e conceituação das categorias e subcategorias para fornecer informações aos tomadores de decisão para a definição dos indicadores de eficiência energética adequados para serem utilizados na indústria.

1.1 Panorama do problema

A indústria manufatureira é o meio de criação da riqueza, a qual transforma recursos, cria produtos e serviços para atender as demandas humanas por meio dos processos de

produção. Para atender a demanda as indústrias consomem muita energia, materiais e serviços, e muitas vezes possuem baixa eficiência energética e taxa de conversão de recursos, mas no entanto a indústria possui um alto potencial para realizar economia de energia (CAI *et al.*, 2018).

A industrial é considerada uma das maiores consumidoras de energia, no Brasil a participação do consumo das indústria representa aproximadamente 35%, ficando a frente do consumo residencial que representa 30% (EPE, 2020). E de acordo com a Firjan (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro), os custos com a energia na indústria pode chegar a representar cerca de 40% dos custos de produção. Como o setor industrial é considerado um setor crítico, com um consumo relevante de energia primária, para lidar com situações graves, como: o aumento do preço da energia, esgotamento dos recursos globais e o aquecimento, a melhoria da eficiência energética na fabricação se torna uma tendência inevitável (ZHOU *et al.* (2016).

Hoang, Do e Iung (2017) apontam que as indústrias se deparam com novos desafios para otimizar o seu desempenho, e precisam enfrentar as novas regulamentações legislativas, econômicas ou desafios sociais, nos quais estão relacionadas às questões de sustentabilidade. Segundo Peng *et al.* (2015) a eficiência energética está intimamente relacionada ao desenvolvimento sustentável das indústrias, não apenas pela escassez e impacto ambiental, mas pela condição que exige definir a eficiência como dimensão do desempenho operacional (PERRONI *et al.*, 2018). Já como objetivo político a importância da eficiência energética está ligada à competitividade comercial e industrial, segurança energética e também aos benefícios ambientais (PATTERSON, 1996).

De acordo com os autores Kara, Bogdanski e Li (2011), com as crescentes pressões do mercado as indústrias perceberam a importância da medição e monitoramento de energia como base para trabalhar os potenciais de melhoria da eficiência energética, enfatizando o desenho de estratégias de medição para dimensionar adequadamente os instrumentos de medição. Segundo Monteiro (2013) nota-se uma tendência nos avanços no controle dos processos produtivos focado na redução de perdas, monitoramento rígido no consumo de seus recursos e na eficiência energética de seus processos. Uma vez que, segundo Buccieri (2014), uma instalação industrial é mais eficiente energeticamente quando proporciona as mesmas ou até melhores condições operacionais que outra, com menor consumo de energia.

Segundo os autores Cagno, Ramirez-Portilla e Trianni (2015) para incentivar um melhor engajamento do setor industrial no sentido de obter maior eficiência energética é necessário promover iniciativas adicionais que ajudem a diminuir essas barreiras, como o desenvolvimento

de um catálogo de indicadores, que pode ser utilizado como uma matriz orientadora para a indústria. O desenvolvimento da eficiência energética é um dos principais meios para obter a economia de energia e a redução do consumo energético na manufatura (GONG; SHAO; ZHU, 2019a).

Segundo Hoang, Do e Iung (2017) a eficiência energética pode ser observada na prática em diferentes domínios industriais, pois a preocupação com a eficiência energética cresce a cada dia, não só devido à necessidade da redução no consumo energético ou o aumento da eficiência, mas também devido às alterações climáticas. Para amenizar os impactos, se faz necessário a busca de mecanismos capazes de gerenciar e desenvolver novos métodos para melhoria na gestão, serão necessários investimentos em infraestrutura energética e adoção de políticas de energia (BUCCIERI, 2014).

Muitos esforços têm sido realizados relacionados à análise e diagnóstico da eficiência energética para os processos de produção. No entanto Almeida (2016) relata que a procura por soluções para o atendimento da demanda energética vem se tornando cada vez mais complexa, o que indica a necessidade da adoção de ferramentas que ofereçam informações que possam ser utilizadas na tomada de decisão. Pois o desenvolvimento das questões de geração de energia são lentas, e assim não acompanha o aumento constante da demanda com o aumento de atividades rotineiras dependentes de energia, tornando assim a pauta da crise energética tão importante, ampla e complexa, o que leva ao aumento dos custos de energia, processos e serviços (RIBEIRO e ALVES E SILVA, 2018).

Eficiência energética industrial é principalmente analisada por meio da aplicação de indicadores de energia, sendo estes relevantes na identificação dos desperdícios e direcionamento das melhorias nos processos. Entretanto, os indicadores precisam estar bem associados e bem definidos para que possam fornecer as informações de forma precisa e prática. Com o uso dos indicadores essas informações podem ser analisadas e assim fornecer dados para a definição ou busca de melhores formas de otimizar a utilização dos recursos (CAI *et al.*, 2016).

Segundo os autores Buccieri (2014) e Gong *et al.* (2019b), a otimização da eficiência energética e o uso de indicadores de eficiência energética promove melhores práticas para a utilização da energia, trazendo inúmeros benefícios para a empresa. Para Eichhammer e Wilhelm (1997), os indicadores de energia tem como propósito central compreender as influências relevantes, tecnologias e a atividade econômica, sobre o consumo de energia final total da indústria e demais subsetores, que são o surgimento de novas tecnologias e inovações, e as alterações dos padrões das atividades econômicas e social (FREEMAN e PEREZ, 1988).

Por isso, é importante utilizar indicadores que permitam avaliar e mensurar a eficiência energética, pois através deles é que se formam as bases para a melhor utilização da energia. Desta forma, tem-se como questão de pesquisa: Como os indicadores de eficiência energética podem ser categorizados, quanto a sua aplicação em ambientes industriais, para a análise e desenvolvimento da eficiência energética?

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação foi categorizar os indicadores de eficiência energética utilizados em ambientes industriais, presentes na literatura.

Para o alcance do objetivo geral, apresentam-se os objetivos específicos desta pesquisa:

- Selecionar e analisar, os indicadores de Eficiência Energética (EE) presentes na literatura por meio de revisão sistemática;
- Elaborar uma categorização para os indicadores de EE, a partir das propriedades e aplicação, de acordo com suas características de semelhança ou diferenciação.
- Definir um sistema de identificação de indicadores de EE, por meio da categorização proposta e o nível de decisão desejada pela empresa.

1.3 Justificativa

Com o desenvolvimento da indústria, a aceleração do processo de globalização e o aumento da competição, houve também um grande aumento no consumo energético. Sendo uma estratégia para a redução do consumo energético, de custos e recursos, a busca pela eficiência energética, que mesmo oferecendo grandes desafios, as possibilidades de melhoria dentro de uma instalação industrial são muitas (BUCCIERI, 2014).

Conforme apontado por alguns autores citados neste trabalho, Buccieri (2014); Tantisattayakul *et al.* (2016); Bühler *et al.* (2019) e Gong *et al.* (2019), dentro de suas respectivas concepções, a aplicação de indicadores de eficiência energética é de fundamental importância em vários setores industriais, como um auxílio no diagnóstico, controle e na identificação das necessidades para melhorar o desempenho energético da indústria. De acordo com Almeida (2016), o uso de indicadores é imprescindível para o melhor controle, análise e monitoramento das informações, auxiliando na diminuição das incertezas, as quais são importantes para orientar, definir as prioridades e estabelecer metas.

Para que seja possível gerenciar a energia na produção é necessário medir o desempenho

da eficiência energética de equipamentos, processos e fábricas, assim as informações relacionadas à energia permitem avaliar o progresso das empresas de manufatura em relação às suas metas de eficiência energética (MAY *et al.*, 2015).

Na literatura, vários autores desenvolveram suas propostas se concentrando em diferentes setores industriais. Os sistemas de fabricação de acordo com Duflou *et al.* (2012), diferem de empresa para empresa e de linha de produção para linha de produção, tornando difícil encontrar informações precisas sobre as quais poderá basear as previsões de economia de energia. Dessa forma, segundo Oliveira e Freitas (2001) a seleção de indicadores como fonte de informação, pode representar ou integrar em um cenário as características de diferentes categorias de indústrias, com processo produtivo diferentes, para auxiliar na tomada de decisão.

De acordo com Huang (2011) muitas empresas necessitam de uma maior orientação para melhorar o desempenho energético, para que ocorra a redução do consumo de energia. Para isso, se faz necessário a adoção de métodos que possibilitem um melhor aproveitamento de energia, trazendo benefícios na produtividade, redução de custos e melhor desempenho de equipamentos e instalações (SILVA, 2013; DE ENERGIA, 2018).

Os autores Gong, Shao e Zhu (2019b) e Liao *et al.* (2016) explicam que a medição e o monitoramento da eficiência energética se tornaram um componente importante da estratégia energética de indústrias, pois a eficiência energética reflete todo o processo produtivo, considerando os materiais consumidos e produzidos.

Conforme abordado anteriormente, sobre a necessidade das empresas de manufatura em adotar procedimentos para monitorar e analisar o consumo de energia, entende-se que o uso de indicadores seja imprescindível para o melhor controle, análise e monitoramento das informações, auxiliando na diminuição das incertezas, as quais são importantes para orientar, definir as prioridades e estabelecer metas de eficiência energética (ALMEIDA, 2016).

A escolha específica do estudo se deve ao fato de que para gerenciar os problemas de consumo energético industrial, a gestão de eficiência energética é importante, sabendo que a aplicação traz um melhor uso dos recursos energéticos em seus processos. A sua aplicação é a principal razão para a necessidade de desenvolvimento do presente trabalho, e importância e relevância consiste no melhor entendimento sobre os indicadores de eficiência energética.

Pretende-se que o conjunto de indicadores escolhidos seja um instrumento para fornecer informações acerca das suas características e aplicação, tornando-os aplicáveis na indústria. Busca-se facilitar a sua identificação de uso por meio da categorização desses indicadores, pois a seleção de indicadores de eficiência energética e sua classificação e/ou categorização, cria um padrão de identificação do uso desses indicadores, importante para promover a comparação e a

troca de informações entre empresas. A categorização, segundo Lima (2010) “é a melhor forma de organizar o conhecimento, pois para recuperação, pelo óbvio motivo de que a informação estruturada é mais fácil de ser recuperada do que uma informação desorganizada”. E segundo Meireles e Cendón (2011), a categorização tem como intuito de formatar a informação de modo que sua recuperação possa ser realizada. Para que assim permita que os gestores possam definir o indicador que melhor se adequa a sua necessidade, além de servir como base para a tomada de decisão, possibilitando melhorias acerca da eficiência energética nas plantas industriais.

A metodologia aplicada nesse trabalho abrange uma revisão da literatura, análise de conteúdo, apresenta um método de classificação e categorização de indicadores de eficiência energética, para direcionar a seleção e o uso de indicadores de eficiência energética, estabelece uma lista de indicadores de eficiência energética, com suas respectivas fórmulas, para a avaliação da eficiência energética na indústria. Este estudo apresenta uma visão geral estruturada da categorização dos indicadores atualmente em uso e disponíveis na literatura, que visa apoiar os tomadores de decisão e analistas, destacando os níveis de setorização dos indicadores em função do processo e níveis de controle, conforme a necessidade de informação e estrutura organizacional da empresa.

1.4 Organização do trabalho

Essa dissertação está dividida em cinco capítulos, de forma que no primeiro capítulo apresenta-se a introdução onde apresenta-se o tema a ser abordado, os objetivos e a justificativa.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica, a qual contextualiza resumidamente o cenário da Eficiência Energética. São apresentados os principais conceitos e como se dá a estruturação do texto, para contribuir com o embasamento teórico e assim a construção do trabalho.

O **Capítulo 3** apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa, mostrando os passos seguidos ao longo da dissertação, incluindo a caracterização do estudo, os métodos e critérios do estudo, que serão utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

O **Capítulo 4** são apresentados os indicadores de eficiência energética extraídos da literatura, os critérios utilizados para a categorização e a proposta de uso destes indicadores.

O **Capítulo 5** apresenta, por fim, as considerações finais, onde se faz uma análise dos objetivos e resultados alcançados, expõe em síntese os achados e propõe melhorias para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Eficiência energética

Um dos grandes problemas que atinge o mundo nos últimos anos é a questão energética. Questões como o desenvolvimento sustentável e medidas de eficiência energética estão cada vez mais em evidência de acordo com Sbardelotto (2018). A preocupação com a eficiência energética surgiu por volta da década de 70, com a crise do petróleo em virtude da escassez de recursos e conseqüentemente o aumento dos preços. De acordo com PNEF (2011), tal acontecimento fez com que surgisse a necessidade de ações voltadas para a conservação dos recursos e a maior eficiência no uso dos derivados do petróleo, e segundo os autores Vikhorev, Greenough e Brown (2013), isso ocorre devido às preocupações com a segurança energética com as novas regulamentações ambientais, custos associados à emissão de CO_2 (BUNSE *et al.*, 2011), e também em função dos altos preços de energia (POSCH *et al.*, 2015). A eficiência energética como apontado pelos autores Fenerich, Da Costa e De Lima (2017), tem sido uma questão debatida em todo o mundo, devido à crise energética, que causa insegurança no fornecimento energético, devido as mudanças climáticas e comportamentais, bem como dos problemas ambientais que estão surgindo, são decorrentes das formas de fontes energéticas utilizadas (SBARDELOTTO, 2018).

A eficiência energética é um conceito contextual e existem diferentes termos para representar a eficiência energética na literatura, de acordo com Perroni *et al.* (2018) alguns dos termos que corresponde a eficiência energética é desempenho energético, produtividade energética, conteúdo energético, intensidade energética, consumo específico de energia e eficiência relativa. Segundo Ang (2006), não existe uma definição única, comumente aceita, para a eficiência energética, pois cada profissional pode ter um conceito diferente em relação a este tema. Por exemplo, “para os engenheiros, eficiência significa uma relação física de

saída/entrada e para os economistas, eficiência significa uma razão de produto/insumo monetário ou produto monetário/insumo físico” (LOVINS, 2004, p.385).

Patterson (1996) define a eficiência energética como a saída útil de um processo por entrada de energia em um processo. Para Phylipsen, Blok e Worrell (1997, p. 717), a “definição de eficiência energética consiste em numerador e denominação de uma medida de atividade e uma medida de consumo de energia”, assim como segundo Wang *et al.* (2018), o valor quantitativo da eficiência energética é representado pela razão entre a produção útil de desempenho, serviço, bens ou energia e a entrada de energia. A eficiência energética é estabelecida pela relação entre a quantidade de energia utilizada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização (ABESCO, 2008; BUCCIERI, 2014).

De acordo com Ferreira e Ferreira (1994) (*apud* FAVATO, 2005, p.1), a “eficiência energética é um conceito generalizado que se refere às medidas a serem implementadas ou já implementadas, bem como os resultados alcançados decorrentes da melhor utilização da energia”. Para Lovins (2004, p. 383), em termos gerais, a eficiência energética é “qualquer proporção de função, serviço ou valor fornecido para a energia convertida para fornecê-lo”. Segundo Wang *et al.* (2018), a eficiência energética é definida como a forma de alcançar os mesmos serviços com um menor gasto de energia, ou seja, significa fazer mais com menos, mantendo a mesma qualidade, em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado.

A eficiência energética apresenta atualmente uma diversidade de conceitos, é conceituada e descrita de diferentes formas na literatura, sendo a definição de eficiência energética uma questão complexa, o termo de eficiência energética de acordo com Broberg; Berg; Samakovlis (2015) é constantemente utilizado como sinônimo de redução do uso de energia, entendida como a utilização racional de energia. A busca pela melhor utilização da energia, se deve a sua importância, pois segundo Tuo *et al.* (2018), a energia é considerada um recurso fundamental para o crescimento econômico, sendo um fator determinante para a competitividade global.

Para Romanelli (2007, pg.17) “a energia pode ser considerada como a capacidade de provocar alterações”. A energia de acordo com Hoang; Do e Iung (2017) é definida como a capacidade de um sistema para produzir determinada atividade, é um dos principais recursos para todos os sistemas industriais em que é consumida como insumo (depois convertida para suportar transformações do processo) e colocada em relação aos resultados finais úteis processo (produtos ou serviços). De acordo com Wang *et al.* (2018), a energia é uma necessidade básica

para diferentes propósitos nas instalações industriais, diferente de outros recursos, é usada em praticamente todos os processos de produção (PERRONI *et al.*, 2018).

De acordo com Hoang; Do E Jung (2017), a energia consumida pode ser representada por diferentes formas (por exemplo, eletricidade, gás, petróleo). E a energia disponível para a realização de trabalho é representada pela exergia, ou seja, é a capacidade de transformar energia em trabalho (ou exergia). A exergia, traduz uma nova imagem da energia e dos sistemas de conversão de matéria. E exergia é uma propriedade termodinâmica de um sistema que tem sido amplamente utilizada para estudar e melhorar a eficiência de processos térmicos e químicos, que também tem sido vista como um componente chave para uma sociedade sustentável (ROMANELLI, 2007; KRAHL e PINTO, 2010; GONÇALVES e GASPAR, 2011).

Segundo Romanelli (2007), a quantidade de energia disponível (exergia), é definida como energia, é expressa em diferentes formas de energia, ou seja, considera e mede a qualidade das diferentes formas de energia, renováveis e os não-renováveis, que é direta ou indiretamente demandada para propiciar um dado fluxo ou estoque de energia ou material. A energia significa “trabalho realizado”, segundo Barrella (2005) é definida como a energia incorporada utilizada todos em todo os processos e insumos necessários para se gerar um produto, bem ou serviço. Segundo Ortega (2010), a energia resume toda a energia utilizada nos processos que levaram a formação de um produto ou serviço, sendo denominada transformidade a relação entre a energia requerida para fazer um produto e a energia do produto (ROMANELLI, 2007).

A eficiência energética é retratada pela IEA (2014), como o meio mais econômico, capaz de lidar com várias questões relacionadas à energia, que tem o potencial único de contribuir simultaneamente para questões de segurança energética, impactos sociais e econômicos e as preocupações com as mudanças climáticas. Os autores Lemos, Rosa e Júnior (2016) explicam que muitas aplicações o custo da eficiência energética representa apenas uma pequena parcela dos gastos da produção de energia. Pois entre a eficiência energética e a produção de energia, segundo Geller (1994, *apud* Cheung *et al.*, 2008), o custo de conservar 1 kWh é, relativamente, mais barato que sua produção. Assim, conforme sustentado por Dincer (1999), muitas vezes é mais barato conservar energia do que localizar uma nova fonte de energia, o que é um paradoxo econômico, que a forma mais barata de produzir uma unidade de energia é conservá-la, ainda que, para o uso de tecnologias mais eficientes seja necessário investimentos maiores, pois as tecnologias que substituem as existentes geralmente são mais caras (KUSTERKO, 2009).

De acordo com Worrell *et al.* (2009) a eficiência energética é um dos métodos mais significativos e econômicos para reduzir o uso de energia e as emissões de CO₂ nas próximas décadas. Ela é apontada por Perroni *et al.* (2018) como um pré-requisito para a sustentabilidade, e segundo PNEF (2011) a eficiência energética atua como instrumento para a mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases de efeito estufa, o que por sua vez de acordo com Velasco-Fernández; Dunlop; Giampietro (2020) colabora para a redução dos custos e também fomenta a competitividade. Contribuindo assim, de acordo com Chen *et al.* (2013, *apud* Peng *et al.*, 2015), para a qualidade do crescimento econômico e promovendo até mesmo a melhoria da saúde e do bem-estar (IEA, 2014).

A eficiência energética para Indicators (2014), tem um papel fundamental tanto na segurança energética como no crescimento econômico, bem-estar populacional e na redução dos gases de efeito estufa. À medida que uma nação se desenvolve continuamente, de acordo com Ang (2008) os governos têm um forte interesse em desenvolver a eficiência energética, pois segundo Fernando e Hor (2017) em decorrência desse desenvolvimento também há o aumento do consumo de energia, o que significa forte atividade econômica, dado que a eficiência energética é impulsionada principalmente por razões econômicas.

Nehler e Rasmussen (2016) destaca alguns direcionadores para investimentos em eficiência energética, como manutenção reduzida, emissões reduzidas, aumento da produção e qualidade do produto e melhoria da imagem pública. Para Ingarão (2017) além da redução das emissões, a preocupação ambiental também está ligada à reciclagem de materiais, o que resulta em economia de energia. Reduzir os gastos com energia se torna importante não apenas na redução de custos, mas também em relação aos impactos ambientais, levando-se em consideração desde a geração até o transporte de energia (MORALES, 2007).

Segundo Leite (2015) para auxiliar as empresas na identificação de possíveis melhorias da qualidade e/ou na produtividade energética das suas operações foi criada a ABNT NBR ISO 50001:2011. De acordo com Morabito (2017, pg.48) o objetivo “é permitir que as organizações determinem os sistemas e processos necessários para otimizar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo”. Pois de acordo com Sbardelotto (2018, p.19) “por meio da ABNT NBR ISO 50001:2011 as organizações conseguirão gerenciar o consumo, o uso e o suprimento da energia, até mesmo os processos de medições, documentações e elaboração dos relatórios”.

De acordo com a Eletrobras (2005) em decorrência da implementação das práticas de eficiência energética, há um aumento na conservação e uso racional de energia, da redução dos impactos ambientais, benefícios sociais e redução global de custos e investimentos para o país.

Uma das melhores formas de reduzir o consumo de energia e os custos de energia em uma organização segundo Schulze *et al.* (2016) é o gerenciamento de energia, pois a eficiência energética e produtividade estão fortemente associadas às práticas de gestão, como afirmado por Martin *et al.* (2012) em seu estudo. De acordo com Sola e Mota (2020) é importante observar que as práticas de gestão são decisivas para melhorar o desempenho energético nas organizações.

De acordo com Sbardelotto (2018), os sistemas de gestão energética são ferramentas que auxiliam na implantação de políticas, uma vez que segundo Okereke (2007) a produção e o consumo de energia são em grande parte moldados por políticas governamentais na forma de regulamentos ou acordos. A eficiência energética, segundo IEA (2014) é uma prioridade política crescente para muitos países ao redor do mundo, visando assegurar a provisão de energia renovável e sustentável, juntamente com a redução das emissões de poluentes. Para Worrell *et al.* (2009) a implementação de políticas adequadas facilita o progresso da eficiência energética e pode dobrar suas taxas de melhoria, pois focam a sustentabilidade energética e os alvos de eficiência energética. Para a política econômica a eficiência energética é um meio para amenizar as mudanças climáticas, que conseqüentemente, de acordo com Broberg; Berg; Samakovlis (2015) conduz à redução dos impactos ambientais e à segurança no fornecimento de energia, assim para os autores Cagno; Ramirez-Portilla e Trianni (2015) são de importância vital para a sociedade, governos e indústria. No entanto, o sucesso das políticas energéticas depende da capacidade de prever a resposta do setor industrial e deve ser baseado em evidências científicas (MARTIN *et al.*, 2012).

Para a promoção da eficiência energética, várias ações têm sido empreendidas, uma delas é a criação de programas de Eficiência Energética, como o programa PROCEL Indústria (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e os programas de Eficiência Energética – PEE, conduzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (PNEF, 2011). Visto a importância da eficiência energética no desenvolvimento e qualidade de vida, no Paraná a Companhia Paranaense de Energia (Copel) criou o Manual de Eficiência Energética na Indústria. De acordo Santos (2015) o manual foi desenvolvido buscando contribuir para a melhoria dos processos produtivos, através do uso eficaz da energia elétrica em instalações industriais. Esses programas, regulamentos ou acordos, incentivam a mudança do mercado em direção à responsabilidade ambiental (OKEREKE, 2007).

Gadonneix (2010) declara que a melhoria da eficiência energética pode ser alcançada por meio de mudanças tecnológicas ou de uma melhor gestão organizacional ou de mudanças comportamentais. De acordo com Sbardelotto (2018) as estimativas e previsões sobre a

demanda e o consumo energético são fundamentais para se ter um aprimoramento do planejamento energético, assim como a criação de metas e planos de ações voltadas ao consumo sustentável e eficiente. Segundo Guo *et al.* (2018) a mudança na estrutura de consumo de energia, combinando o gerenciamento e tecnologia é outra maneira de reduzir o consumo de energia. E, de acordo com Huang (2011), uma parte da mudança da eficiência energética é obtida principalmente a partir de modificações no gerenciamento energético das instalações, na introdução de novos equipamentos e tecnologias, de acordo com Sbardelotto (2018) a redução do consumo e custos de energia pode ser feita a partir da utilização de novas tecnologias desde a sua geração (suas fontes primárias) até o seu uso final e aproveitamento.

2.1.1 A eficiência energética na manufatura

Com o crescimento da população mundial e o desenvolvimento econômico, houve um aumento no consumo de energia e recursos, de acordo com Papetti *et al.* (2019), tanto a nível doméstico como industrial. Na opinião Sharuddin *et al.* (2016) a indústria é um pilar para a criação de riqueza humana e uma importante incorporação da economia nacional, tal como a força nacional geral de um país. Segundo o IEA (2015) a indústria é considerada um setor com uma alta demanda de energia, a maior consumidora de energia elétrica, consome cerca de 54% da energia total mundial (ZHAI, *et al.*, 2017), mais do que qualquer outro setor.

A grande importância dada à eficiência energética por parte da manufatura e do governo para Bunse *et al.* (2011), se dá devido a alguns fatores como o preço da energia e as preocupações ambientais, como o aquecimento global. Intimamente relacionado a melhorias significativas em termos ambientais e econômicos, para Palm e Thollander (2010) e May *et al.* (2015) o tema eficiência energética tornou-se importante, visto que é um campo que preocupa negócios em todo o mundo, indo além das indústrias tradicionais intensivas em energia como as indústrias de aço, cimento, química, papel e celulose, siderurgia e petroquímica, bem como segundo Liao *et al.* (2016) é empregada em vários setores.

Atualmente, para Hoang; Do e Iung (2017) as empresas industriais estão enfrentando muitos requisitos, como novas regulamentações legislativas, econômicas ou desafios sociais, e também enfrentam novos desafios para otimizar os desempenhos, confiabilidade ou produtividade, e também relacionados a questões de sustentabilidade. Como aponta Liu (2018) as indústrias enfrentam o aumento produtivo, contenção de custos, o aumento de qualidade e o suporte aos consumidores, e ao mesmo tempo têm que lidar com a necessidade da redução da emissão dos resíduos, como aponta a IEA (2015) as indústrias de manufatura contribuem com

36% das emissões mundiais de CO₂ (dióxido de carbono). Na visão de Ouyang e Lin (2015) o crescimento do setor industrial nas últimas décadas gerou grandes preocupações quanto à conservação de energia, pois segundo Cai *et al.* (2018) a indústria consome grandes quantidades de energia, materiais e serviços, sendo que muitas vezes com baixa eficiência energética e baixa taxa de conversão de recursos.

De acordo com Posch *et al.* (2015) as indústrias passaram a ser pressionadas a buscar melhores práticas para a utilização de energia, e assim consequentemente aumentar a eficiência energética. Uma vez que a eficiência energética segundo Haider e Bhat (2018) é a melhor forma de se atingir esse propósito, e para Wang *et al.* (2018) a medição da utilização da energia “é a base para aumentar a eficiência energética em tempo real”. Além disso, as melhorias na eficiência energética reduzem o uso de energia elétrica, o que beneficia o controle do preço da energia e propicia o melhor gerenciamento de recursos naturais (IEA, 2012). Conforme De Energia (2005, p.1) “na área industrial, a eficiência energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações, com a consequente melhoria da qualidade dos produtos fabricados”. Mas para que isto ocorra é necessário realizar mudanças no ambiente, levando em conta a utilização de equipamentos que utilizem uma menor quantidade de energia na produção (FENERICH, DA COSTA E DE LIMA, 2017).

No setor industrial, segundo PNEF (2011) a prática da eficiência energética deveria ser uma ação natural adotada pelos agentes setoriais, no entanto de acordo com IEA (2018) apesar das políticas públicas em muitos países e das ações para melhoria da eficiência energética nas organizações, a eficiência energética tem encontrado barreiras. Segundo Sola e Mota (2015), as principais barreiras estão ligadas ao sistema de gestão, relacionadas ao foco da empresa no sistema de produção, sobretudo com relação à integração dos sistemas de gestão da empresa. Essas barreiras, como apontada pelos autores Apeaning e Thollander (2013), Arens *et al.* (2017) e Trianni, Cagno e Farné (2016), são econômicas, comportamentais, ou falta de conhecimento e consciência sobre tecnologias de eficiência energética (HOCHMAN e TIMILSINA, 2017).

Os problemas de eficiência energética industrial são multifacetados, na visão de Palm e Thollander (2010) é um problema óbvio, pois as tecnologias de eficiência energética não se difundem de forma satisfatória. Brunke *et al.* (2014) alega que a existência de barreiras à eficiência energética impossibilita ou adia a adoção de tecnologias de eficiência energética. Segundo Fleiter *et al.* (2012), outro fator que dificulta a implementação são as características dessas tecnologias de eficiência energética. Do ponto de vista dos autores Anderson e Newell (2004) e Sardianou (2008) mais uma barreira encontrada pelas organizações é a falta de capital

e alto valor do investimento inicial, ou por motivos econômicos. De acordo com Nogueira (2007) e Caneppele (2011) algumas das causas da ineficiência energética são projetos deficientes, operações ineficientes e manutenção inadequada.

Outra barreira conforme McKane *et al.* (2007) e Wang, Wang e Zhao (2008) é a falta de conhecimento dos profissionais da empresa, para pesquisar e avaliar processos e tecnologias energeticamente eficientes, para fazer o levantamento de melhoria da eficiência energética nas organizações e fornecer as informações necessárias aos decisores. O que evidencia segundo Rohdin e Thollander (2006) que a falta de informação é uma forte barreira para melhoria da eficiência energética nas empresas. Assim como afirma Weber (1997) essas barreiras para eficiência energética nas organizações podem decorrer da assimetria de informações, preferências por outros objetivos e falta de compromisso com as questões energéticas.

De acordo com Wang *et al.* (2018), para as indústrias que consomem energia de forma intensiva, ainda existem questões a serem resolvidas para o alcance da eficiência energética, questões como a atribuição das tarefas levando em consideração o seu status em tempo real, falta de métodos de captura e processamentos dos dados em tempo real, e também acesso a todos os dados de fabricação para identificar as oportunidades de economia de energia.

Gadonneix (2010) afirma que a melhoria da eficiência energética é uma estratégia importante para abordar a segurança do suprimento de energia, as mudanças climáticas e a competitividade. Para Chen *et al.* (2017) é necessário enfrentar os desafios da globalização, aumentar a competitividade e a eficiência da empresa por meio da aplicação de novas tecnologias e novos meios de gestão, melhorar a eficiência energética e reduzir os custos de produção são medidas extremamente necessárias. De acordo com Andersson; Arfwidsson; Thollander (2018) ao mesmo tempo que as ações de eficiência energética por parte das indústrias influenciam na redução da emissão de gases do efeito estufa, essas ações tendem a melhorar a lucratividade da empresa. No entanto, segundo Kusterko (2009), para que a indústria tenha um comportamento responsável, é preciso que além da redução dos custos, alcance um consumo eficiente e racional da energia elétrica, buscando otimizar o seu uso, sem prejudicar a performance do sistema.

Schulze *et al.* (2016) aponta que as empresas industriais parecem perceber que o gerenciamento de energia pode ser uma alavanca eficaz para aprimorar seus sistemas de produção e operações em direção a uma maior eficiência energética. No entanto, melhorar a eficiência energética na indústria é difícil, devido à alta complexidade dos sistemas de energia industriais. Para os autores Gong; Shao e Zhu (2019b) o diagnóstico de eficiência energética é uma das principais tecnologias e pré-condições essenciais para realizar a economia de energia

e a redução do consumo nas indústrias. De acordo com Palm e Thollander (2010), para a mudança do sistema de energia faz-se necessário que os usuários modifiquem seus hábitos, o que podem ser induzidos através de políticas, regras, subsídios etc.

Para Abdelaziz *et al.* (2011) o desenvolvimento da eficiência energética na indústria pode ser realizado por três abordagens: a economia de energia, a introdução de novas tecnologias mais eficientes e políticas ou regulamentos para a economia de energia. Na indústria, segundo Johansson e Thollander (2018), a busca pelo desenvolvimento da eficiência energética demanda o envolvimento de todos os processos e departamentos, através de uma abordagem multidisciplinar. Como ferramenta de gestão, a aplicação ISO50001 contribui para o uso mais eficiente das fontes energéticas disponíveis, para diminuição de emissões de gases de efeito estufa e de outros impactos ambientais (ABNT, 2011).

A implementação de medidas de EE segundo Gamtessa e Olani (2018) reduzirá a demanda de energia industrial por unidade de produto, reduzindo custos econômicos para os mesmos níveis de produção e impactando sua intensidade energética. Como descrito por Pye e Mckane (2000) os projetos para melhorar a eficiência energética devem enfatizar processos eficientes e aumento de produtividade para ter mais atenção da comunidade empresarial. A partir de um padrão de gestão energética, medidas de EE são adotadas nas instalações, além de mudanças nas práticas e culturas operacionais, as quais são empregadas a fim de se obter redução no uso, consumo e custos energéticos (HUANG, 2011).

Quando inovações para melhorias de eficiência energética são adotadas pelas empresas, de acordo com Aden, Bradbury e Tompkins (2013) os benefícios percebidos são redução de custos, melhoria da competitividade e redução de emissões de poluentes. Outro benefício percebido segundo Worrell *et al.* (2003) é a melhoria da produtividade, isso pode ser uma força motriz para a adoção dessas tecnologias pelas organizações. Segundo Liu *et al.* (2018) contribui para o desenvolvimento sustentável da indústria torna possível se alcançar benefícios econômicos, ambientais e sociais.

2.2 Medição de desempenho

Nos últimos 20 anos, diversas mudanças vêm sendo observadas nas empresas quanto à medição de desempenho. O cenário competitivo está em constante mudança e as operações precisam se adequar a este contexto, para Betto *et al.* (2010) isso requer que as empresas tenham maior flexibilidade e criatividade para que possam se manter competitivas.

No início de 1900, de acordo com Chandler (1977 *apud* Neely, 1999) foram

desenvolvidos os primeiros indicadores e os procedimentos utilizados eram voltados ao controle de contabilidade. Conforme Ghalayini; Noble e Crowe (1997) aborda em seu trabalho, até a década de 80, a medição de desempenho era relacionada em termos de produtividade física ou finanças. Kennerley e Neely (2003) declaram que muitos autores apontam que o sistema de contabilidade financeira, indica o desempenho resultante das operações, porém fornece poucas indicações sobre como alcançar ou melhorar o desempenho. No entanto, após um tempo, segundo Tezza, Bornia e Vey (2010) essas medidas já não eram suficientes, e a partir disso devido às insuficiências do sistema de medição, houve uma ruptura na utilização de indicadores estritamente financeiros.

Então, de acordo com De Arruda Borges e Petri (2013) a partir disso começaram a surgir estudos para o desenvolvimento de sistemas de medição, com medidas financeiras e também não financeiras. Ainda segundo o autor, isso fez com que as empresas passassem a utilizar indicadores atrelados à qualidade, velocidade e flexibilidade, resultando em indicadores financeiros menos significativos. Assim, segundo Kaplan e Norton (1996) também surgiram diversos estudos sobre a medição de desempenho organizacional, nos quais frisaram que as empresas precisavam alcançar uma paridade entre os indicadores de desempenho financeiro e os ativos tangíveis e intangíveis que os sustentavam.

De acordo com Neely (1998), os sistemas de medição de desempenho são constituídos por medidas individuais que mensuram a eficiência e eficácia das operações, um conjunto de medidas nos quais são utilizadas para analisar o desempenho num todo e uma infraestrutura de suporte, à qual possibilita a obtenção e manipulação dos dados. Para Costa Neto e Canuto (2010), a eficácia está ligada ao bom resultado da organização, deve-se ainda, manifestar em nível estratégico e pode-se considerar decisões ou ações eficazes como aquelas em que se fazem as coisas certas. Já a eficiência está ligada à boa utilização dos recursos disponíveis e à ideia de produtividade, então, deve se manifestar em níveis tático e operacional (ROCHA, 2014).

A medição de desempenho para Sink e Tuttle (1993 *apud* Costa, 2003) é um processo pelo qual se decide o que medir, como fazer a coleta, acompanhamento e análise dos dados. Em que também é possível identificar as capacidades da organização e os níveis de desempenho esperados, tanto dos processos quanto do sistema organizacional. Na medição de desempenho, como aponta Moreira (2002) o que medir é derivado da estratégia e os dados obtidos devem ser representativos, precisos e oportunos, isto é, dados com a qualidade requerida, dentro dos prazos previamente estipulados. São as empresas que definem os seus objetivos de desempenho, e Shavarini *et al.* (2013) afirma que as estratégias definidas pela empresa são o meio para atingir os objetivos ou vantagens competitivas. “O que define o conteúdo de uma estratégia de

produção, os critérios competitivos relacionados com a estratégia competitiva da empresa e as categorias de decisão de longo prazo” (BARROS NETO; FENSTERSEIFER; FORMOSO, 2003, p.68).

A medição de desempenho de acordo com Sink e Tuttle (1993 *apud* Costa, 2003), pode exercer vários papéis no processo gerencial, e tem o papel de orientar a melhoria, indicando sobre o que concentrar a atenção e onde os recursos devem ser disponibilizados. Segundo Lantelme (1999) como facilitador da comunicação e da aprendizagem organizacional.

Bourne, Kennerley e Franco-Santos (2005, p.375) afirma que “o conteúdo do sistema de medição está relacionado ao que está sendo medido e como as medidas estão estruturadas”. De acordo com Fitzgerald *et al.* (1991), as medidas de desempenho podem ser divididas em relacionadas com resultados (competitividade, desempenho financeiro) e relacionadas com os determinantes dos resultados (qualidade, flexibilidade, utilização de recursos e inovação). De Toni e Tonchia (2001), em sua pesquisa, os autores indicaram quatro aspectos do desempenho, que são: custos / produtividade; tempo; flexibilidade; qualidade. Em sua pesquisa, os autores, Tezza, Bornia e Vey (2010) utilizaram como critério para classificar os sistemas de desempenho (SMDs), a abrangência, tipo de abordagem, foco, nível de medição e grau de complexidade, a partir da qual estes são avaliados em cinco critérios (categorias) e enquadrados em subcategorias para cada critério, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de classificação de sistemas de desempenho

Critério (Categoria)	Subcategoria	Descrição e aspectos considerados
Abrangência	Corporativo	Estrutura geral da empresa/sistema, produção e trabalho
	Cadeia de suprimentos	Relacionamento da empresa/sistema com outros integrantes de sua cadeia de produção (fornecedores, consumidores, dentre outros).
	Serviços	Voltado para o setor terciário.
Abordagem	Individual	Recursos humanos, evolução profissional, dentre outros.
	Teórico	Estudos puramente teóricos.
Foco	Prático	Possuem componentes experimentais para validação conceitual.
	Financeiro	Considera medidas puramente financeiras na análise de eficiência.
Nível de medição	Não-financeiro	Inclui fatores como qualidade, produtividade e inovação.
	Operacional	Oferecem respostas imediatas ao comportamento diário do sistema
	Tático	Monitoramento da evolução do desempenho e tomada de decisões sobre a operação do sistema.
Grau de complexidade	Estratégico	Voltado ao alcance de objetivos – visão futura – geralmente a longo prazo.
	Baixo	Proporcional ao uso de recursos, necessidade de mão-de-obra, generalidade e tecnologia empregadas no SMD.
	Médio	
Alto		

Fonte: adaptado de Tezza; Bornia; Vey (2010).

De fato, as empresas precisam tornar seus processos mais eficientes, o que leva a uma maior lucratividade, e desse modo, de acordo com Yeung; Lai; Yee (2007) as indústrias

precisam desenvolver suas habilidades para explorar da melhor forma os seus ativos. Algumas empresas remodelaram os seus sistemas de medição a fim de que representem as suas estratégias atuais (KENNERLEY e NEELY, 2003).

De acordo com Moreira (2002) um sistema de medição não garante, por si só, um desempenho excelente, é necessária a integração de várias partes, tais como coleta, armazenagem, tratamento dos dados e cujo elo é a análise sistemática dos dados existentes, ao se medir em vários pontos dos processos empresariais, busca-se acompanhar a realização da estratégia adotada. Segundo Sink e Tuttle (1993, p.156) o conjunto das partes que compõem um sistema de medição é idealizado, desenvolvido, inspirado, influenciado e deve refletir a estratégia da organização.

De acordo com Lynch e Cross (1991) a implementação de um sistema de desempenho assegura que as estratégias e objetivos se mantenham alinhados. Pois, as informações sobre o desempenho de uma empresa ou sistema devem ser integradas, dinâmicas, acessíveis e visíveis, de forma a subsidiar a rápida tomada de decisões, promovendo um gerenciamento proativo (NUDURUPATI *et al.*, 2011).

A medição e o monitoramento da eficiência energética tornaram-se um componente importante da estratégia energética em muitos países, especialmente os com deficiência energética, após a crise mundial do petróleo de 1973. Assim, de acordo com May *et al.* (2015) a eficiência energética passou a ser um tema relevante que preocupa as empresas, a qual está relacionada com as condições ambientais e econômicas.

Com aumentos substanciais nos preços mundiais do petróleo, muitos países reconheceram a necessidade de compreender como o recurso energético estava sendo consumida (ANG, 2006). As mudanças tecnológicas que exigem um acompanhamento sistêmico, pontual e contínuo ao longo do tempo, tornam obsoleta a segurança em relação à EE e ao nível da produtividade (FOSSA e SGARB, 2015). De acordo com Sbardelotto (2018), organizações com iniciativas próprias e isoladas, não conseguem manter suas atividades e planejamentos de EE por um longo período.

A produção e operação das empresas atualmente, segundo Liu *et al.* (2018) enfrentam desafios para aumentar a produtividade, reduzir os custos, melhorar a qualidade e atender à demanda dos consumidores. De acordo com Meshcheryakova, Tkacheva e Kabanova (2018) as empresas precisam desenvolver a gestão dos seus recursos energéticos e de conservação de energia, assim como melhorar a eficiência energética reduzir as emissões de resíduos e obter otimização abrangente dos benefícios econômicos, ambientais e sociais (LIU *et al.*, 2018). Para obter um alto desempenho é necessário eliminar as diversas formas de desperdício

(LINDBERG *et al.*, 2015), sendo que o desperdício energético deve ser contido por meio da otimização da produção (MAY *et al.*, 2015).

De acordo com Wang *et al.*, (2018), as indústrias de manufatura devem adotar procedimentos ou métodos para monitorar e analisar o seu consumo de energia. Sendo a avaliação de eficiência energética, segundo Tuo *et al.* (2018), uma condição inicial para a redução do consumo de energia e avanço da eficiência energética. May *et al.* (2015) afirmam que “torna-se essencial adotar um processo de melhoria contínua para usar os recursos energéticos com mais eficiência, bem como aperfeiçoar o desenvolvimento tecnológico e de negócios (KONG *et al.*, 2013).

A medição do desempenho da eficiência energética das indústrias, equipamentos e processos é o início para a gestão eficiente de energia (MAY *et al.*, 2015). Segundo Bunse; Sachs; Vodicka (2010), diversas indústrias ainda precisam de mecanismos apropriados para o desenvolvimento da eficiência energética no gerenciamento da produção. Em sua revisão de literatura, May *et al.* (2015) afirmam que a indústria e a academia ainda necessitam desenvolver métodos em relação ao consumo energético e a ineficiência das máquinas e ferramentas.

Para Peng *et al.* (2015) um sistema de gestão de informação energética é uma ferramenta eficaz para monitorar o consumo de energia. De acordo com Sbardelotto (2018) a implantação de um sistema de gestão energética (SGE) requer uma cooperação entre os responsáveis, a fim de delimitar e atingir objetivos, superando os obstáculos, mudanças de rotinas e adequação aos novos hábitos para se alcançar um consumo racional de energia.

A implantação de um sistema de SGE segundo Fossa e Sgarb (2015), permite às organizações controlarem seu consumo de energia a partir do desenvolvimento da consciência e de cuidados com seu uso, a busca de soluções para se adquirir um melhor aproveitamento energético e um constante monitoramento das atividades, garantindo assim um bom desempenho energético. Dessa forma, otimizando a utilização dos recursos e instrumentos disponíveis a partir da gestão, é possível obter uma redução no consumo de energia sem interferir nos resultados das atividades dos usuários (REIS, 2015, p. 17).

A avaliação e o monitoramento da eficiência energética e de recursos, para Papetti *et al.* (2019) e Bunse *et al.* (2011) são atividades primordiais para a implementação de práticas de fabricação sustentáveis, em que a avaliação do consumo de energia possibilita identificar quais são as ações de melhoria para os processos. Como aponta Mahlia (2004) a avaliação da eficiência energética pode fornecer dados de referência para programas de economia de energia, como padrões de eficiência energética, rótulos de energia e outros esquemas de incentivos. Assim, a melhor utilização de energia tem como objetivo a redução dos custos e dos impactos

ambientais decorrentes do consumo energético (MOREJÓN *et al.*, 2019).

Para Kara; Bogdanski e Li (2011) a medição e o monitoramento de eletricidade em aplicações industriais abordam uma ampla gama de aplicações, que podem ser divididas em três amplos níveis de aplicação: nível de fábrica; nível de departamento e nível de processo de unidade. Segundo Wang *et al.* (2018) medir o estado do uso de energia é a base para aumentar a eficiência energética em tempo real, pois requer o conhecimento do consumo de energia atual. De acordo com Mkwanzani, Mandegari e Görgens (2019) para que isso seja possível, indicadores de energia adequados devem ser desenvolvidos para avaliar as unidades de processo e o desempenho energético geral. Medir, avaliar e melhorar o sistema de fabricação sustentável é um desafio científico (LIU *et al.*, 2018).

Segundo Bunse *et al.* (2011), para avaliar o seu desempenho energético na produção, as indústrias precisam otimizar as suas estruturas e estabelecer indicadores. Um sistema de monitoramento de energia bem estruturado é necessário para permitir a detecção precoce e a correção do consumo de energia em excesso, resultante de variações operacionais (MKWANANZI, MANDEGARI E GÖRGENS, 2019).

2.3 Aspectos gerais de indicadores

Um indicador, em termos gerais, de acordo com a OEDC (2008), refere-se a uma medida observável que fornece *insights* sobre um conceito difícil de medir diretamente. Segundo Ribeiro, Alves e Silva (2018) pode-se dizer que os indicadores são instrumentos desenvolvidos para fornecer informações de forma clara e organizada. O significado da palavra indicador segundo o dicionário Michaelis (2015) pode ser definido como “Adj. (...) 1 Que indica; indicativo (...) 3 Que apresenta dados sobre peso, medida, pressão. 4 Que orienta sobre qualquer providência a ser tomada. Sm (...) 1 Tudo aquilo que indica.

Para Merchán-Hamann, Tauil e Costa (2000) as diversas definições relativas aos indicadores são influenciadas pelas diferentes linguagens, mais ou menos consolidados em diferentes campos disciplinares. A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), organização governamental que avalia e gerencia estudos e projetos e fornece consultoria, utiliza maciçamente indicadores e entende que eles são: “Especificação quantitativa e qualitativa para medir o atingimento de um objetivo” (FINEP, 2002). A OECD, organização internacional com reconhecidas e adotadas publicações sobre o assunto, em uma definição clássica (OECD, 2001), especifica que indicadores são “[. . .] uma série de dados definidos para responder perguntas sobre um fenômeno ou um sistema dado”. A International Standard Organization (ISO) (1998,

p. 3) estabelece que indicadores são: “Expressão (numérica, simbólica ou verbal) empregada para caracterizar as atividades (eventos, objetos, pessoas), em termos quantitativos e qualitativos, com o objetivo de determinar o valor”.

Os indicadores para Marshall *et al.* (2003) são medidas-síntese que contêm informação relevante sobre determinados atributos e dimensões, onde são representadas e mensuradas as informações, que facilitam a emissão de informações. A OECD (2003) aponta que um indicador é um parâmetro, variável ou um conjunto de variáveis, capaz de fornecer informações relevantes sobre um fenômeno, ambiente ou área. De acordo com Snis (2007) estes também são considerados o cruzamento de duas ou mais informações ou variáveis, segundo Mueller, Torres e Morais (1997) podendo ser uma informação ou um conjunto de informações, sendo que através do cruzamento de duas ou mais informações é possível relacionar diferentes quadros, com valores de referência (KUSTERKO, 2009). De acordo com De Soárez, Padovan e Ciconelli (2005) os indicadores são variáveis que permitem quantificar as variações no comportamento dos critérios de qualidade estabelecidos. São relações numéricas que visam estabelecer medidas de determinação de ocorrências ou de uma situação, são parâmetros representativos de um processo para quantificá-lo e facilitam sua comparabilidade (STUDNICKI *et al.*, 2002).

Apesar de diferentes definições de indicadores, Moura (2002) em seu trabalho afirma que existem alguns pontos em comum entre eles, que são: a função de medir; comunicar de forma simplificada e objetiva; necessidade de contextualização em relação ao local, investigador e público. Kusterko (2009, p.20) os indicadores “sinalizam, comunicam, demonstram, indicam e informam sobre uma questão qualquer”. Dias (2008) em seu estudo aponta os elementos que compõem os indicadores, são eles o índice, que corresponde a um valor numérico, representa o padrão ou unidade de medida dos indicadores, referencial comparativo que é utilizado como padrão de comparação, as metas que são os índices a serem alcançados em um determinado espaço de tempo, são compostas por objetivo, valor e prazo e fórmula de obtenção do indicador.

Existem diferentes designações para a definição de indicadores de acordo com Carregaro (2003), na revisão de literatura do seu estudo ele apresenta um levantamento dos diferentes tipos de classificações de indicadores, entre diferentes classificações, ele coloca que a forma mais usual para classificar os indicadores de desempenho é feita em duas categorias: indicadores de qualidade e indicadores de produtividade. Para Dias (2008), os indicadores de desempenho operacional podem ser classificados em: indicadores estratégicos, indicadores de produtividade (eficiência), indicadores de qualidade (eficácia) e indicadores de efetividade (impacto). A Fundação Prêmio Nacional da Qualidade (FNQ), conforme apresenta Carregaro

(2003), classifica os indicadores de desempenho em quatro categorias: desempenho de satisfação do cliente; desempenho financeiro; clima organizacional, e desempenho operacional. Outros autores como Niederauer (1998) e Carregaro (2003) classificam os principais indicadores de desempenho como indicadores de eficiência, de produtividade e de eficácia.

Com relação aos atributos dos indicadores, para Marshall *et al.* (2003) a qualidade de um indicador depende das propriedades dos componentes utilizados em sua construção (frequência de casos, tamanho da população, etc.) e da precisão dos sistemas de informação empregados (registro, coleta, transmissão dos dados, etc.). Segundo Polidoro (2000), a principal característica dos indicadores é a de sintetizar uma quantidade diversa e complexa de dados em informações compreensíveis, sem perder o significado essencial dos aspectos de análise e o grau de excelência de um indicador. Os critérios para a criação de indicador são estabelecidos pela ISO 11.620, (1998, 2003), são esses: conteúdo da informação, em que o indicador deve ser informativo e ser confiável, válido, apropriado e prático.

Segundo Rozados (2005) os indicadores podem ser utilizados para levantar aspectos quantitativos e/ou qualitativos de um dado fenômeno, com vistas à avaliação. Segundo Gras *et al.* (1989) fornece informações relevantes sobre dados menos acessíveis para auxiliar na tomada de decisão. Por isso, de acordo com Escrivão Junior (2004) e Mueller, Torres e Moraes (1997), um indicador deve ser de fácil compreensão, de modo que sejam compreensíveis pelos usuários da informação, quantificável e racional, principalmente, éticos e fornecer informações factuais do fato analisado para que possam ser facilmente analisados e interpretados.

Para Buccieri (2014) a determinação de um indicador quantificável e mensurável, pode exigir a sistematização de dados antes de sua implantação, determinando-se formas de sua obtenção e tratamento ao longo do tempo, garantindo assim de acordo com Rocha *et al.* (2010) a representatividade e abrangência das informações. Para Do Vale Caribe (2009) as organizações precisam definir metas de prazo, de qualidade e de desempenho e serviços, para depois converter essas metas em indicadores específicos. Precisam aperfeiçoar a sua coleta de dados para que seja possível uma melhor avaliação dos indicadores (GIELEN e TAYLOR, 2009).

Do ponto de vista de Carregaro (2003) os indicadores são sinais vitais para uma organização, pois comunicam o que é importante para toda a organização, disseminam a estratégia para todos os níveis, resultados dos processos, o controle e a melhoria dentro dos processos. Segundo Rozados (2005) os indicadores além de serem um instrumento de avaliação, o também são instrumentos de gestão, pois de acordo com Kardec, Flores e Seixas (2005), servem para mostrar problemas e oportunidades, subsidiar a realização de avaliações, apontar

possíveis soluções e informar, de forma qualificada, sobre processos. Os indicadores possibilitam a comparação entre produtos e resultados alcançados com as metas propostas, permitem, assim, aferir o desempenho alcançado, se o cliente saiu satisfeito, etc. (DO VALE CARIBE, 2009).

Os indicadores são ferramentas que possibilitam o controle ou monitoramento dos diferentes fatores, os quais servem de base para ações de melhoria de desempenho, de acordo com Lindberg *et al.* (2015) podem fornecer informações sobre o desempenho em diferentes áreas, como energia, matéria-prima, controle e operação, manutenção, planejamento e programação, qualidade do produto, estoque, segurança, etc. Os indicadores para De Soárez, Padovan e Ciconelli (2005) podem ser aplicados para avaliar a estrutura, os processos e os resultados. Permite obter informações sobre características, atributos e resultados de um produto ou serviço, sistema ou processo (DO VALE CARIBE, 2009). Ainda de acordo com o autor, toda atividade de uma organização é geradora de resultados que por sua vez são avaliados por meio de indicadores. De acordo com Sutter (2002) múltiplos indicadores podem ser utilizados por uma organização, pois um único indicador, utilizado isoladamente, traz pouca informação, mas, no entanto, quando comparado com um padrão de referência é que seu significado emerge (DE SOÁREZ; PADOVAN; CICONELLI, 2005).

Nas últimas décadas, o incentivo pela busca da qualidade total nas unidades de informação é cada vez mais crescente de acordo com Rozados (2005), no que faz com que aumente a preocupação com a definição e a utilização de indicadores apropriados, que auxiliem na avaliação e na gestão. Para Borschiver (2007) a importância dada à utilização de indicadores nas definições estratégicas das empresas tem aumentado consideravelmente, como uma forma de gerenciar o desempenho.

Segundo Do Vale Caribe (2009), os indicadores são utilizados pelas organizações para controlar e melhorar a qualidade e o desempenho dos seus produtos, serviços e processos ao longo do tempo, permitem o estabelecimento de metas e seus respectivos desdobramentos, ao mesmo tempo em que possibilitam uma análise crítica subsidiando o replanejamento ao longo da gestão. Além disso, para Costa (2003) os indicadores vêm se tornando um dos principais instrumentos utilizados pelas empresas para auxiliar na tomada de decisão indicando seus pontos fortes ou fracos, ou chamando a atenção para suas disfunções, pois podem gerar informações para avaliar o posicionamento das empresas em relação ao seu ambiente interno e externo (ZILBER e FISCHMANN, 2002).

2.4 Indicadores de eficiência energética na manufatura

Desde o final da década de 1980, decorrente da crescente preocupação com o abastecimento mundial de energia, de acordo com Ang (2006) houve um impulsionamento do desenvolvimento e a aplicação de indicadores de eficiência energética, devido à preocupação com o aquecimento global e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Com a retomada do crescimento econômico do setor industrial no Brasil, desde 1970, houve crescimento elevado do consumo energético nacional, de acordo com Schirmer (2006) chegando a 54% do consumo total em 1980. A urbanização crescente, industrialização e modernização das atividades industriais, segundo Jannuzzi e Swisher (1997) influenciaram no aumento do consumo de energia em países em desenvolvimento. Com o aumento da globalização, juntamente com as questões de competitividade, Gielen e Taylor (2009) aponta o recurso energético como um fator-chave de produção em vários setores, as questões relacionadas a energia e redução de custos ganham cada vez mais ênfase.

Para Gottschalk (1999), o uso da energia deve ser o mais efetivo possível, reduzindo os custos da produção e otimizando seus altos custos. A maior parte das organizações, de acordo com Schirmer (2006), trata a energia como um insumo necessário para a produção e isso afeta diretamente o valor final do produto ou serviço gerados. A informação relacionada com a energia permite avaliar o potencial de otimização e melhoria das medidas de eficiência energética, pois de acordo com Li e Tao. (2017) a eficiência energética pode ser usada para avaliar as atividades industriais e a eficiência no uso de energia. Portanto, torna-se importante fornecer conhecimentos que evidenciem o estado geral da fábrica e seu desempenho em relação ao consumo de energia (MAY *et al.*, 2015).

No entanto, para Phylipsen, Blok e Worrell (1997) as mudanças no consumo de energia das indústrias não estão exclusivamente relacionadas a eficiência energética nos processos industriais, mas também a fatores políticos, econômicos e ambientais. Diante da situação atual apresentada pelo contexto energético, segundo Sbardelotto (2018) os indicadores de eficiência energética são apresentados como uma importante ferramenta avaliativa, pois avaliam e monitoram o desempenho energético (SAGASTUME *et al.*, 2018).

De Castro (2010) explica que os indicadores de eficiência energética são relações úteis para o acompanhamento e monitoramento do consumo e do custo com a energia elétrica, permitindo avaliar ao longo do tempo o desempenho da unidade ou do sistema de abastecimento, do ponto vista da eficiência energética e da economia. Segundo Bossel (1999) os indicadores sintetizam a sua enorme complexidade numa quantidade manejável de

informação significativa, para um subgrupo de observações que informam as nossas decisões e direcionam as nossas ações, permitindo um melhor monitoramento e controle do consumo de energia, o que de acordo com May *et al.* (2013), é extrema importância para as empresas atuais e futuras, com a finalidade de melhorar a eficiência energética na produção.

Na literatura, como descrito pelos autores Li e Tao (2017), Bunse *et al.* (2011), Ang (2006), Boyd (2005), Patterson (1996), a eficiência energética é frequentemente medida em termos de indicadores termodinâmicos, indicadores de base física (necessidades de energia por unidade de produção física) ou indicadores baseados em moeda (necessidades de energia por dólar de produção), que podem ser mensurados pela quantidade necessária para produzir uma tonelada de determinado produto. Os indicadores de eficiência energética, de acordo com Patterson (1996), descrevem as relações entre uma saída útil de um processo/entrada de energia em um processo. Na visão de Schipper *et al.* (2001), descrevem as relações entre o uso de energia e atividade econômica de forma desagregada, representando medições do consumo de energia e permitindo identificar os fatores que o afetam. Os indicadores de energia buscam associar o uso da energia e a atividade humana, cada atividade, ou uso final, como uma medida unitária (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017).

Segundo Ang (2006) os indicadores de eficiência energética para toda a economia ou setorial foram derivados de duas maneiras diferentes, abordagem agregada, por meio do uso de alguma energia agregada e variáveis monetárias ou físicas de maneira direta ou abordagem ascendente, por meio da agregação de indicadores de eficiência setoriais ou de uso final. Ainda de acordo com o autor, os indicadores também podem ser definidos em diferentes níveis de agregação em termos de demanda de energia, por exemplo, em toda a economia, setor, subsetor, uso final, tecnologia, processo e dispositivo.

Os indicadores energéticos podem ser definidos como macro indicadores (quando caracterizam a eficiência de um país ou região) e micro indicadores (quando caracterizam a eficiência de uma empresa, edifício ou habitação). Esses indicadores podem ser divididos em duas categorias em função dos seus objetivos de acordo com Ferreira e Ferreira (1994, *apud* FAVATO, 2005, p.13):

Descritivos: quando caracterizam a situação de eficiência energética sem procurar justificativa para as causas ou desvios; e explicativos: quando explicam as razões pelas quais se deram variações ou desvios nos indicadores descritivos, ou seja, ajudam a identificar a contribuição dos vários efeitos a identificar a contribuição dos vários efeitos sejam eles tecnológicos, estruturais ou de comportamento nas variações da eficiência energética.

Os indicadores descritivos e explicativos, de acordo com Saidel, Favato e Morales

(2005) podem ser estabelecidos tendo em consideração os critérios econômicos, na medição em nível elevado, e critério técnico-econômico, na medição em nível desagregado. Ainda de acordo com Patlitzianas *et al.* (2008) os indicadores de eficiência energética e conservação de energia, podem ser divididos em indicadores descritivos, indicadores básicos normalizados, indicadores comparativos, indicadores estruturais, indicadores de intensidade, indicadores de decomposição, indicadores causais, indicadores consequentes e indicadores físicos (BUCCIERI, 2014). Para Criollo (2016), os indicadores podem ser classificados ainda de acordo com diferentes momentos do ciclo de gestão, a partir das suas funções, que podem ser *ex-ante*, antes da situação como suporte, *in curso*, para o monitoramento e avaliação da situação, e *ex-post* para avaliação do alcance de metas, resultados e impactos na sociedade.

Através da sua análise de literatura May *et al.* (2013) realizou um estudo do estado da arte sobre os indicadores de eficiência energética e os classificou por meio de dimensões, abrangendo desde o nível setorial e nacional até o nível de máquinas e processos. De acordo com Escrivão Junior (2004), os indicadores são classificados segundo o uso a que se destinam e segundo o tipo de dados empregados em sua construção. Os autores Tironi *et al.* (1991) destacam que os níveis de setorização dos indicadores são determinados em função do processo, ou do produto, e dos níveis de controle e avaliação existentes. Assim, conforme as necessidades de informação da empresa e a sua estrutura de organização e decisão, as medidas de desempenho podem ser agregadas de diferentes maneiras.

A elaboração desses indicadores, de âmbito global ou local, como aponta Sbardelotto (2018) é feita a partir de uma associação dos tipos de energia com os fatores econômicos, ambientais, sociais e tecnológicos. Para a análise dos indicadores de energia serem mais efetivas, de acordo com Eichhammer e Wilhelm (1997), são necessárias informações atuais e precisamente monitoradas. De acordo com IEA (2007) devem ser desenvolvidos indicadores apropriados para cada aplicação, em cada unidade do processo. Pois, esses indicadores de eficiência energética são utilizados para apresentar os desempenhos atuais da organização, integrar as ações da empresa com o meio ambiente e acompanhar a evolução dos resultados (SBARDELOTTO, 2018).

No sentido de alcançar resultados confiáveis, é recomendável de acordo com Nilsson (2007), que os indicadores sejam simples, entendíveis, apropriados, facilmente mensuráveis de acordo com os objetivos e que sejam aplicados dados confiáveis. Assim como afirma Fernandes (2004) que o indicador tem a tarefa básica de expressar, de forma simples, uma determinada situação que se está avaliando, no dizer suas características, componentes, fatores e elementos Segundo Ribeiro e Alves E Silva (2018), pois os indicadores devem possibilitar a visualização

dos fatores causais e os impactos em que suas informações servem de apoio ao processo decisório, uma vez que a partir deles as decisões são tomadas (MAY *et al.*, 2015).

O desenvolvimento de indicadores de energia, na visão de Mkwanzani; Mandegari; Görgens (2019), tem potencial de uso no estabelecimento de um sistema de monitoramento do uso de energia excedente, capaz de captar informações essenciais e quantitativas sobre os principais parâmetros de influência no sistema. Do ponto de vista de Lapillonne (2020), alguns dos objetivos dos indicadores de eficiência energética é o monitorar as metas em programas de eficiência energética e redução de CO₂, avaliar as políticas e programas de eficiência energética; planejar ações futuras, prever modelos e melhoria da qualidade das previsões e comparar as negociações internacionais sobre mudanças climáticas entre países.

De acordo com Bhadbhade *et al.* (2020) e Eichhammer e Mannsbart (1997) esses indicadores são considerados ferramentas ou um meio para mensurar a evolução da aplicação das políticas e são uma forma de avaliar o impacto e/ou sucesso das de eficiência energética de redução de CO₂, pois o consumo eficiente de energia de acordo com Honma e Hu (2014) é importante para o desenvolvimento sustentável, de modo que os recursos sejam melhor utilizados. Segundo Sbardelotto (2018), com a utilização de indicadores de eficiência energética, é possível verificar e acompanhar as diretrizes propostas pelo sistema. A medição e o monitoramento da eficiência energética nacional tornaram-se um componente importante da estratégia energética em muitos países, especialmente os deficientes em energia (ANG, 2006).

De acordo com Mkwanzani, Mandegari e Görgens (2019), para o gerenciamento efetivo de energia, um sistema planejado e bem estruturado deve ser criado para que seja possível a detecção e análises do consumo de energia. E ao adotar um Sistema de Gestão Energética (SGE), em uma organização, Sbardelotto (2018) explica que são elaborados indicadores de eficiência energética (IEE), no entanto “a complexidade do desempenho de um sistema de energia requer uma combinação de uma variedade de indicadores (um espaço multi-desempenho critérios) e não apenas um único (por exemplo, uma única saída / rácio de entrada)” (CARNOT, 1824) apud Velasco-Fernández, Dunlop e Giampietro, 2020, p.2).

IEA (2007) afirma que não existe um indicador exclusivo de eficiência energética que seja aplicado em diferentes contextos, dado que “o desenvolvimento e aplicação de indicadores de eficiência energética dependem da finalidade para a qual serão aplicados” como aponta Bunse *et al.* (2011, p.4). Onde cada grupo de indicadores tende a servir a um determinado propósito e o indicador apropriado a ser usado depende do objetivo, se está relacionado com engenharia/projeto de sistemas, produtividade econômica, meio ambiente, esgotamento de recursos, sustentabilidade, segurança nacional, etc. (ANG, 2006).

Para Tavares e Monteiro (2013) o consumo de energia nos processos industriais pode ser assim determinado pelo nível de atividade, estrutura do setor e a eficiência energética. Segundo Perroni *et al.* (2018), para monitorar continuamente o desempenho energético, são desenvolvidos indicadores diretos e indiretos de eficiência energética, sendo os indicadores uma forma de avaliar periodicamente o desempenho dos sistemas de manufatura. Kara, Manmek e Herrmann (2010) e Rahimifard, Seow e Childs (2010) apontam que o papel do indicador de eficiência energética é o de medir o desempenho, a energia incorporada dos produtos ou demanda acumulada de energia (PATEL, 2003).

Na visão de Li e Tao (2017), vários indicadores podem ser adotados para representar as mudanças na eficiência energética. De acordo com Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018) capturar uma tendência de eficiência energética em um contexto industrial é difícil, pois um indicador de eficiência energética é geralmente afetado por fatores que não estão conectados a uma mudança na eficiência energética. No entanto, segundo Perroni *et al.* (2018) existe uma correlação entre os indicadores em termos de evolução, que assim pode-se confirmar que todos os indicadores criados capturam a evolução do desempenho energético.

Tavares e Monteiro (2013), declara que a utilização de indicadores voltados para a avaliação da eficiência energética de processos na indústria vem crescendo em importância no mundo e no país. De acordo com Eichhammer e Mannsbart (1997), o principal objetivo dos indicadores energéticos na indústria é o de proporcionar um entendimento maior na influência técnico-econômica no total do consumo final de energia na indústria e individualmente dos subsetores ou filiais. Além disso, para Nilsson (2007) tem como uma das principais funções a identificação das principais áreas que necessitam de uma otimização e controle, bem como a adoção de medidas de desempenho energético. Os indicadores de energia para Towslee (2015, p.349) “são para medir, rastrear, melhorar e comparar a eficiência energética dos processos de fabricação”. Segundo Bunse *et al.* (2011) esses indicadores descrevem a relação entre uma atividade e a energia necessária, que podem gerar impactos nos processos.

A seleção dos critérios e dados para a elaboração dos indicadores de eficiência energética deve ser feita cautelosamente, Tavares e Monteiro (2014) aponta que no setor industrial, a análise dos indicadores de eficiência energética pode auxiliar na definição de diretrizes relevantes, para o direcionamento de mudanças no consumo energético, o estabelecimento e avaliação de políticas, indicar limitações estruturais, a substituição de processos tecnológicos e, alteração do uso e da escolha das matérias-primas.

A implantação de um sistema de indicadores no gerenciamento de produção, de acordo com Liu *et al.* (2018), atua na economia de recursos produtivos, elevando a eficiência da

conversão e reduzindo as emissões de poluentes. Segundo Tavares e Monteiro (2013) os resultados da análise de indicadores de eficiência energética poderão estar ligados a ações de planejamento estratégico, de gestão, de tecnologia, ambiental e de conservação de energia. A aplicação de avaliação da eficiência energética com mais rigor, faz com que haja um maior desenvolvimento e utilização de indicadores, tanto de monitoramento como de avaliação (ANG, 2006).

Para Meshcheryakova, Tkacheva e Kabanova (2018), o interesse dos pesquisadores está na economia da energia na indústria, garantindo a eficiência energética e o desenvolvimento sustentável, pois de acordo com Palm e Thollander (2010, p.3255), “como e quando a energia é usada na indústria determina a capacidade da sociedade de criar sistemas de energia sustentáveis a longo prazo”. Desta forma, segundo Li e Tao (2017), a melhoria da eficiência energética é uma estratégia vital que visa maximizar os resultados e diminuir os custos operacionais.

Nos sistemas de energia, para Mangla *et al.* (2020) a sustentabilidade auxilia tanto para o consumo eficiente de energia como na recuperação de energia de resíduos, Holden, Linnerud e Banister (2014) alega que com a avaliação da sustentabilidade se torna possível a integração dos aspectos da sustentabilidade nos processos decisórios. Pois, de acordo com Proskuryakova (2018) através das avaliações de sustentabilidade, busca-se um entendimento sobre as questões ambientais, econômicas, sociais, de segurança e tecnológica, em prol da responsabilidade. Tavares e Monteiro (2014) explica que na prática, cabe destacar que a aplicação da análise destes indicadores e sua relevância em descrever a inter-relação existente da eficiência energética e os recursos consumidos, associam-se principalmente a fatores econômicos e político-ambientais dentro da indústria.

3

METODOLOGIA

A Metodologia de acordo com Demo (1985) é a forma como ocorrem os processos para o desenvolvimento da pesquisa, tratando da teoria e prática, onde os instrumentos para o estudo são apontados para atingir o objetivo. O método de pesquisa apresenta a lógica de desenvolvimento do processo de pesquisa, e “é compreendida como um conjunto flexível de diretrizes que vinculam os paradigmas teóricos às estratégias de investigação e aos métodos para a coleta e análise de materiais empíricos” (SANTO e GRECA, 2013, p.17).

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para realizar a pesquisa, através da descrição dos procedimentos metodológicos adotados, a partir da questão da pesquisa, para o desenvolvimento da pesquisa em cada etapa.

3.1 Estratégia de pesquisa

A estratégia de pesquisa adotada para elaboração dessa dissertação foi fundamentada em uma metodologia de revisão sistemática estruturada, baseada no trabalho de Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). O objetivo de tal sistemática é localizar estudos relevantes, definida em razão do objetivo de pesquisa e com base em uma questão de pesquisa, para avaliar e sintetizar suas informações.

A revisão sistemática apresenta vantagens significativas em comparação às abordagens narrativas tradicionais de revisão de literatura segundo Fossatti *et al.* (2019), pois as técnicas de pesquisa bibliográfica tradicionais não seguem uma metodologia formal, e as revisões sistemáticas se distinguem devido a sua ênfase em abordagens transparentes, estruturadas e abrangentes, bem como por meio de sua exigência para a síntese formal dos resultados da pesquisa. Para Denyer e Tranfield (2009), as revisões sistemáticas apresentam inúmeras vantagens, uma delas é que ajuda a reduzir o preconceito implícito do pesquisador, por meio da

adoção de estratégias de pesquisa, sequências de pesquisa predefinidas, bem como critérios de inclusão/exclusão.

A análise de dados trata-se do processo de formação de sentido além dos dados, isto é, o processo de formação de significado. Segundo Teixeira (2003), a análise dos dados é um processo complexo que envolve retrocessos entre dados pouco concretos e conceitos abstratos, entre raciocínio indutivo e dedutivo, entre descrição e interpretação. Nesse estudo a análise de dados se deu a partir das publicações selecionadas na revisão sistemática, onde destacou-se um portfólio de publicações relacionados a temática de indicadores de eficiência energética.

Dentre as várias técnicas de análise de dados utilizadas na pesquisa qualitativa, neste trabalho será realizada uma análise de conteúdo, que é compreendida como um conjunto de técnicas de pesquisa cujo objetivo é a busca do sentido ou dos sentidos de um documento (CAMPOS, 2004). De acordo com Moraes (1999) análise de conteúdo constitui uma metodologia usada para descrever e interpretar o conteúdo de toda classe de documentos e textos, pois facilita a análise da informação, mas deve fundamentar-se numa definição precisa do problema, dos objetivos e dos elementos. A análise de conteúdo é realizada com base nas etapas sugeridas por Bardin (2011), no qual é um processo estruturalista que comporta três etapas: pré-análise, exploração do material, ou inventário, a categorização, e tratamento de resultados. Nessa análise buscou-se identificar os indicadores de eficiência energética aplicados a indústria e categorizar de acordo com sua aplicação no ambiente industrial. Segundo Jacob (2004) o processo de classificação envolve a associação ordenada e sistemática de cada entidade a uma única classe dentro de um conjunto de classes mutuamente exclusivas e que não se sobrepõem, é, portanto, uma operação de classificação dos elementos seguindo determinados critérios (MORAES, 1999).

A técnica para a avaliação escolhida, foi uma entrevista estruturada, com um profissional atuante na indústria, permite a interação entre pesquisador e pesquisado, e segundo Szymanski (2004) essa interação possibilita a criação do conhecimento com foco nos objetivos, de coleta das informações para resolver o problema de pesquisa. Para a coleta de dados, foi realizado uma entrevista, com a aplicação de um questionário estruturado, com o objetivo de interrogação direta das pessoas, possibilitando a obtenção de dados a partir do ponto de vista dos pesquisados (YIN, 2001).

3.2 Caracterização da pesquisa

Para o desenvolvimento desta dissertação, procedeu-se um estudo com base bibliográfica, no qual se caracteriza quanto à natureza do seu objetivo como uma pesquisa básica. A abordagem

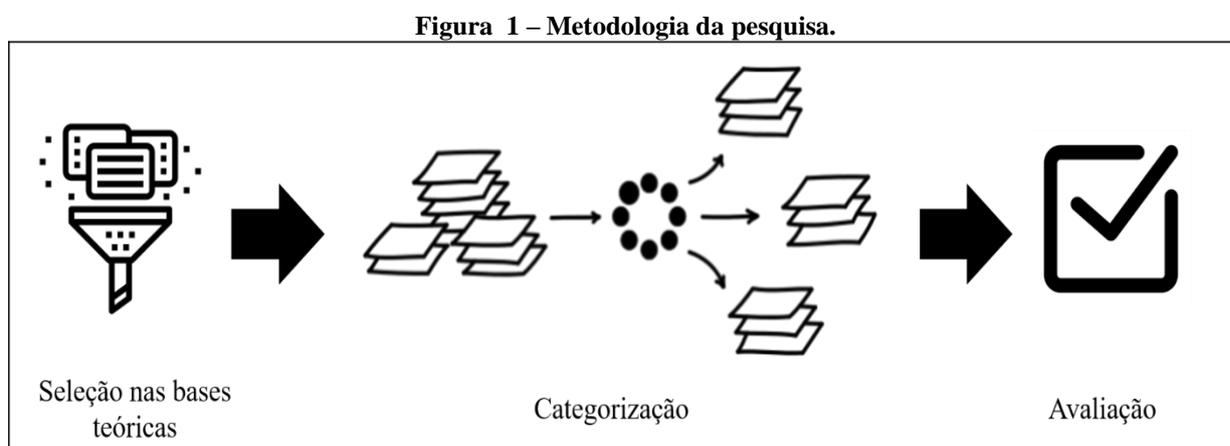
do problema utilizada é considerada como qualitativa (LIMA, 2007), devido ao procedimento metodológico adotado na coleta dos dados e compreensão dos textos selecionados e análise bibliográfica.

A metodologia adotada é caracterizada como exploratória, pois apresenta os procedimentos utilizados para a obtenção dos resultados. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, se caracteriza como levantamento teórico, identificando os estudos para compor a parte teórica da revisão de literatura, os quais são importantes para a compreensão do estudo, que é realizada com o intuito de reunir os conceitos e características apontadas por outros autores, sobre os indicadores de eficiência energética na indústria.

Além disso, como os objetivos, as questões de pesquisa, a justificativa e a motivação já foram delineadas na introdução, o restante desta seção se concentra em como a revisão sistemática foi conduzida, abordando e detalhando a estratégia de busca, os critérios de seleção e os critérios de síntese aplicados nesta pesquisa, como foi realizada a seleção dos indicadores, a definição das categorias dos indicadores de eficiência energética e os procedimentos para a avaliação do estudo.

3.3 Delineamento da pesquisa

A metodologia proposta, investigação e o desenvolvimento do estudo estão divididos nas seguintes etapas: a) procedimento para seleção nas bases teóricas b) categorização c) avaliação. Os métodos e técnicas adotados em cada etapa descrita estão apresentados na Figura 1 e serão posteriormente explicados.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A etapa de seleção das publicações nas bases teóricas se deu por meio de um processo de

revisão sistemática, realizada a partir do trabalho de Fenerich, Da Costa e De Lima (2017), que objetivou a construção de uma agenda de pesquisa, através da identificação das publicações relevantes para a área de pesquisa, no qual tem o intuito de servir como referência para estudos sobre práticas de gestão no uso eficiente de energia, apresentando as publicações sobre a Eficiência Energética em ambientes industriais.

O processo de seleção nas bases foi dividido em três etapas: a) planejamento da pesquisa, que é uma investigação preliminar usada para maior conhecimento acerca do tema e, por fim, definição das razões para realização da pesquisa e construção do portfólio, seguiu-se a técnica de leitura proposta por Lima e Miotto (2007 *apud* SALVADOR, 1986) e b) análise bibliométrica do portfólio, na qual visa a obtenção de informações e/ou dados necessários para o estudo.

A etapa de categorização da presente pesquisa, objetivou explorar o eixo de categorização de indicadores selecionados na pesquisa de revisão sistemática, e como forma de simplificar a apresentação e análise do conteúdo, optou-se pelo método de categorização de Bardin (2011), que possibilita classificar os principais elementos teóricos em categorias mais abrangentes. A análise de conteúdo das publicações, que foi dividida nas seguintes etapas: a) Pré-análise; b) exploração do material, e foi realizada uma análise das publicações, onde foram identificados e selecionados indicadores de eficiência energética nos ambientes industriais e categorização dos indicadores, onde estes foram categorizados de acordo com as suas aplicações nos ambientes industriais e c) tratamentos dos resultados.

A etapa de avaliação dos resultados da categorização dos indicadores de eficiência energética foi realizada através da entrevista com um profissional da indústria, por meio da aplicação de um questionário. E a partir da avaliação foram coletadas as informações e consideradas as observações quanto ao estudo.

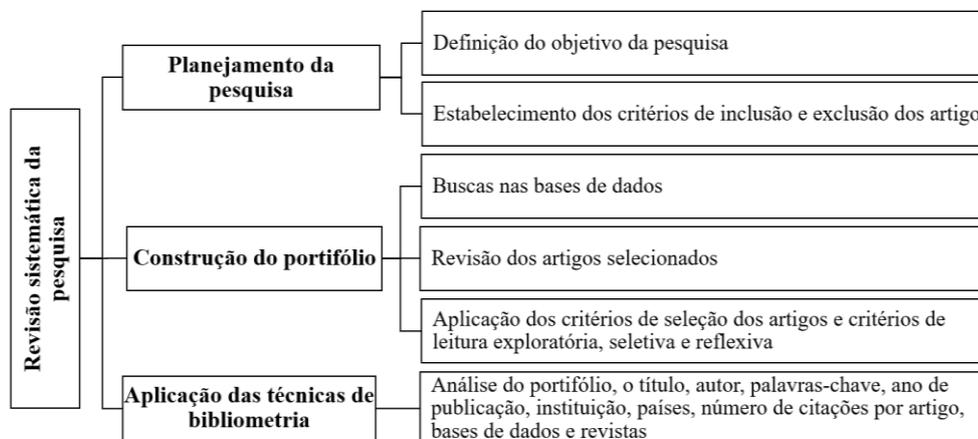
3.4 Procedimento para seleção nas bases

O processo utilizado para a seleção das publicações e a definição do portfólio foi desenvolvida a partir de uma revisão sistemática (LIMA e MIOTO, 2007) seguindo as seguintes etapas (Figura 2): a) planejamento da pesquisa, b) construção do portfólio e c) aplicação das técnicas de bibliometria.

A estratégia de busca para a recolha de informações, consistiu na busca de estudos relevantes, fontes da literatura científica, representados por estudos acadêmicos publicados em periódicos revisados por pares. Para viabilizar a realização da pesquisa, procedeu-se primeiramente o processo de planejamento da pesquisa, que se iniciou com a definição do tema

da pesquisa de busca de Eficiência Energética em ambientes produtivos, e então foi possível construir o protocolo de pesquisa que teve por objetivo identificar os indicadores de eficiência energética em ambientes produtivos presentes na literatura.

Figura 2 – Processo de revisão sistemática da pesquisa.



Fonte: Adaptado de Fenerich; Da Costa; De Lima (2017)

Para identificar e acessar os estudos como fontes de informação para esta revisão, foram estabelecidas as bases de dados científicas indexadas ao Portal Capes, a *Science Direct*, *Emerald*, *Springer*, *IEEE Xplorer*, *ISI Web of Knowledge*, *Scopus* e *Cambridge*, que foram as bases usadas por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). Bases estas selecionadas por terem conteúdos completos, acesso integrado a outras bases de dados e reunirem as ferramentas adequadas que facilitam a pesquisa. Bem como por possuírem referências bibliográficas de literatura científica atualizada e revisada e com periódicos associados, é possível identificar trabalhos de todas as áreas, entre outras aplicações, e que identificam artigos científicos relevantes publicados sobre a eficiência energética na indústria.

Para delimitação de tempo seguiu-se a data final do trabalho de Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). Assim, o ponto de partida para a revisão e realização do trabalho foi 2015, definindo o período para a realização do trabalho de 2015 seguindo até 2020, no idioma inglês, para identificar artigos publicados sobre os temas de eficiência energética. Para as buscas utilizou-se de palavras-chave de pesquisa que compreendem “*strategy*”; “*energy*”; “*efficiency*”; “*operations*”; “*management*”; “*productivity*” e “*indicators*”, que foram utilizadas para definir as cinco *strings* de busca para serem aplicadas nas bases de dados: “*strategy AND energy AND efficiency*”; “*strategy AND energy AND operations*”; “*strategy AND energy AND management*”; “*productivity AND management AND energy*” e “*productivity AND indicators*”.

AND energy, com o intuito de mapear a literatura de eficiência energética para posteriormente identificar os trabalhos que abordam os indicadores.

Para a seleção das publicações foram seguidos os passos e técnicas de leitura utilizados propostas por Lima e Miotto (2007 *apud* SALVADOR, 1986), utilizados para a seleção e exclusão das publicações.

- i) A leitura de reconhecimento, na primeira etapa iniciou-se a leitura do material das 6861 publicações, onde foi realizado a leitura do título, seguidas de palavras-chave das publicações, identificando em qual critério a publicação se encaixava, e foram excluídas as publicações que não atendiam ao objetivo do estudo.
- ii) Em seguida, foi realizada a leitura exploratória. Com as publicações selecionadas realizou-se uma leitura, de modo exploratório, que é a leitura do material de modo dinâmico, do resumo das publicações, onde foi possível identificar informações referentes à importância das publicações selecionadas para o estudo, com base nos critérios de inclusão e exclusão, quadro (1).
- iii) A leitura seletiva, terceira etapa, foi feita com intuito de caracterizar o material, que consiste em localizar e identificar as publicações, verificando assim também a disposição das obras para consulta.
- iv) Seguiu-se a leitura crítica reflexiva. A quarta etapa é orientada para a busca de publicações que descrevem o uso de indicadores de eficiência energética em ambientes industriais, que descrevem indicadores ou adotam um método para o desenvolvimento dos indicadores de eficiência energética, excluindo-se os que tinham pouco interesse.

Quadro 1 – Critérios de inclusão (I) e exclusão (E) de material

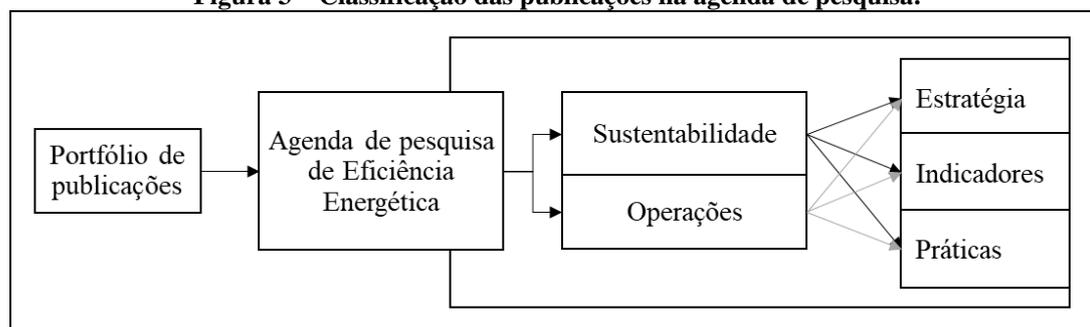
Critérios Inclusão (I)	Critérios Exclusão (E)
(I) Estudos que correlacionam eficiência energética, estratégia ou operação. (I) Estudos que apresentam modelos estratégicos ou operacionais de eficiência energética. (I) Estudos que descrevem indicadores de eficiência energética. (I) Estudos que descrevem práticas e/ou procedimentos para o cálculo de desempenho energético nos sistemas produtivos. (I) Estudos que descrevem indicadores de desempenho produtivos que contemplem o uso de energia. (I) Estudos que descrevem procedimentos adotados para o desenvolvimento de indicadores de eficiência energética.	(E) Publicações que não possuem a versão completa disponível. (E) Publicações cinzas. (E) Publicações que não atingem o objetivo da pesquisa. (E) Publicações repetidas.

Para auxiliar no processo de seleção foi utilizado uma ferramenta de apoio denominado StArt (*State of the Art through Systematic Review*), que é uma ferramenta gratuita, encontrando-se disponível em <http://lapes.dc.ufscar.br/ferramentas/start-tool>, desenvolvida no LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos).

Com base no levantamento bibliográfico, foi realizada a atualização da agenda de pesquisa de indicadores de Eficiência Energética em ambientes industriais, que trata da primeira etapa de desenvolvimento de um artigo de revisão sistemática, constando este nos Apêndices deste documento (Apêndice A), cujo objetivo foi explorar o tema estudo para posteriormente focar nos estudos com indicadores de desempenho de eficiência energética.

Na agenda de pesquisa desenvolvida por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017), os artigos são distribuídos em duas categorias de Operações e Sustentabilidade. Os autores também definiram as subcategorias para os estudos: Estratégia, trabalhos que apresentam uma abordagem estratégica em torno da eficiência energética; indicadores, trabalhos que apresentam indicadores de desempenho energético e sistemas de gerenciamento de energia em ambientes de manufatura; e Práticas de trabalhos que apresentam práticas e recomendações para eficiência energéticas, conforme Figura 3.

Figura 3 – Classificação das publicações na agenda de pesquisa.



Fonte: Adaptado de Fenerich, Da Costa e De Lima (2017).

Contudo, para o desenvolvimento deste estudo foram selecionadas as publicações de uma das subcategorias da agenda de pesquisa como foco, a fim de aprofundar o conhecimento sobre os indicadores de Eficiência Energética nos ambientes industriais. Juntamente com as publicações selecionadas, foi constituído um portfólio com as informações das publicações, apresentado no Quadro 5 (Apêndice B).

Com o intuito de se conhecer o material de estudo, também foi realizada uma análise bibliométrica, que se baseia segundo Lacerda, Ensslin e Ensslin (2012), na evidência quantitativa dos parâmetros de um conjunto definido de artigos (portfólio bibliográfico) para a

gestão da informação e do conhecimento científico de um dado assunto onde consta cada variável a ser analisada. Com a identificação das publicações relevantes, foi elaborado um formulário de extração de dados, uma planilha do *Microsoft Excel*, sendo essas variáveis: ano de publicação, as palavras-chave, periódico de publicação, número de citações de cada artigo, autores, instituição e país de estudo.

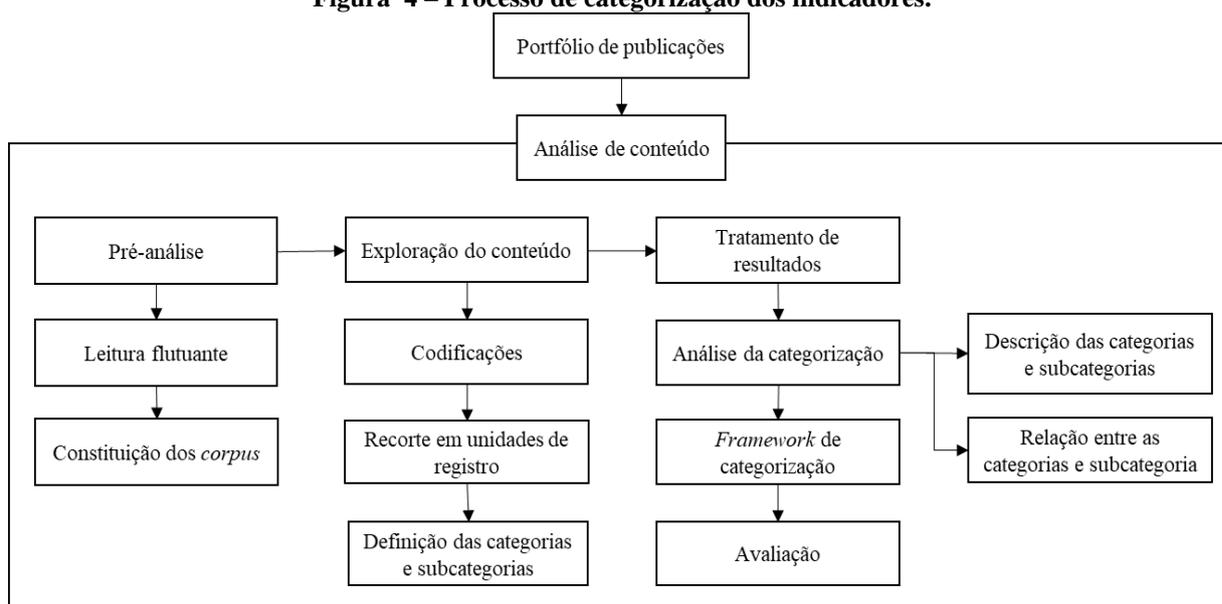
3.5 Procedimento para categorização

A categorização ou classificação de documentos é realizada com o intuito de conferir a esses documentos uma ou mais classes, e assim então classificá-los e separá-los em grupos (BLEIK *et al.*, 2013), de acordo com suas características de semelhança ou diferenciação. A categorização possibilita o agrupamento de documentos que apresentem características comuns, garantindo, assim, a recuperação de grupos que apresentem um relacionamento independente da presença de termos iguais (MEIRELES e CENDÓN, 2011).

Para Bardin (1997) a categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos. As categorias possibilitam a sistematização do conhecimento, segundo os autores Tristão, Fachin e Alarcon (2004), uso de categorias na organização de conceitos e, em consequência, na elaboração de uma classificação é um recurso para o entendimento da natureza do conceito e para a formação das estruturas conceituais. Para uma boa categorização Bardin (1997) e de Câmara (2013) concordam em possuir as seguintes regras: exclusão mútua: se um elemento é incluído em uma categoria, não pode estar presente em outra; homogeneidade: devem ser incluídas no mesmo assunto, natureza e gênero; pertinência: que as categorias sejam um reflexo de um mesmo universo, objetividade e fidelidade: manter e ser fiel com o seu objetivo previamente proposto e produtividade: o conjunto de categorias deve proporcionar novas inferências, dados e hipóteses.

Para o processo de categorização foi realizada uma análise de conteúdo, que segundo Moraes (1999) é usada para descrever e interpretar o conteúdo de toda classe de documentos e textos, à qual busca atingir uma compreensão de seus significados num nível que vai além de uma leitura comum. A análise de conteúdo é realizada com base nas etapas sugeridas por Bardin (1997, 2011), na qual é um processo estruturalista, que comporta as seguintes etapas: a) pré-análise, b) exploração do material, ou inventário. Nesse estudo, a definição das categorias se deu de acordo com a Figura 4.

Figura 4 – Processo de categorização dos indicadores.



Fonte: Adaptado de Bardin (2011)

Correspondendo à análise, a seleção dos indicadores nas publicações selecionadas, e categorização do material correspondente à repartição dos indicadores em categorias, a qual tem por objetivo fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados brutos e tratamento dos resultados.

3.5.1 Pré-análise

A primeira fase é a pré-análise, esta fase compreende duas etapas, a leitura flutuante e escolha dos documentos. A partir do portfólio constituído na revisão sistemática, todos os documentos foram submetidos a um procedimento analítico, buscando um entendimento do material, para que então fosse realizada a escolha dos documentos, a constituição de *corpus*. Para tal, foi realizada a leitura flutuante das publicações, de acordo com Julio *et al.* (2017), estabelecendo um contato com os documentos coletados, que se deseja analisar. Com o intuito de responder aos objetivos deste trabalho, para que as publicações fossem selecionadas deveriam atender aos seguintes critérios: trazer em seu conteúdo indicadores de eficiência energética no ambiente industrial e trazer a fórmula de cálculo desses indicadores.

A constituição de *corpus*, segundo Bardin (1997) implica na escolha, seleção e normas, e segundo Julio *et al.* (2017) deve obedecer às seguintes regras: regra da exaustividade; regra da representatividade; regra da homogeneidade e regra da pertinência. Que tem por objetivo a sua operacionalização, sistematizando as ideias iniciais (MOZZATO e GRZYBOVSKI, 2011; VOSGERAU, POCRIFKA; SIMONIAN, 2016).

3.5.2 Exploração do material

Na exploração do material, busca-se a análise para entender o objeto dos estudos por um processo de subdivisão de conteúdo em partes menores. De acordo com Vosgerau, Pocrifka; Simonian (2016) esta é a fase da descrição analítica, a qual diz respeito ao corpus (qualquer material textual coletado) submetido a um estudo aprofundado, orientado pelas hipóteses e referenciais teóricos. Destacam, ainda, que para identificar as partes e suas inter-relações é “necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto de estudo” (FERRAZ e BELHOT, 2010, p.426).

A exploração do material que é a segunda fase, como descrito por Câmara (2013), essa fase consiste na análise do material para escolher as unidades de codificação e a escolha das categorias, categorização dos indicadores. De acordo com Hernandez e Martins (2013) a categorização pode seguir dois processos, um deles é a definição das categorias dos elementos antes da análise do material, a priori, sugeridas pelo referencial teórico, ou a posteriori, definição das categorias após a análise do material. Sendo resultado da classificação analógica e progressiva dos elementos e o título da categoria só é definido no final da operação, ou seja, as categorias não foram fornecidas inicialmente, mas sim, surgiram como resultado da nas palavras de Bardin (1997, p. 149) da “classificação analógica progressiva dos elementos”.

Para a análise de conteúdo, a construção do contexto teórico, construção ou identificação dos critérios de categorização como aponta Bardin (1997), foram estabelecidas técnicas a serem aplicadas. Para atingir o objetivo de identificar, selecionar e categorizar os indicadores de eficiência energética, foi empregada a análise de conteúdo que é uma técnica de análise qualitativa, categorial e temática. De acordo com o autor a análise qualitativa indicada trata-se de um processo intuitivo, maleável e adaptável a índices não previstos, que por não estar atrelado a frequências – como a análise quantitativa – possibilita a “elaboração das deduções específicas sobre um acontecimento ou uma variável de inferência precisa” (BARDIN, 2011, p. 145).

A partir portfólio das publicações selecionadas através da revisão sistemática, o material é explorado para a seleção dos indicadores energéticos, que de acordo com Fossa e Sgarbi (2017) que deve ser orientada por métricas que representem a realidade operacional dos processos. Para realizar a categorização, o critério adotado no presente estudo foi o semântico, para a análise das publicações, foi definida uma verificação manual, que de acordo com Machado e Hill (2004, p.916) é “considerada na literatura internacional o padrão-ouro nesta modalidade de estudo”, ou seja, para a realização dessas etapas do processo não foram utilizados Softwares, sendo a exploração e categorização dos textos realizadas manualmente. A parte de exploração do material

é constituída pelas seguintes etapas: codificação, recorte do material em unidades de registro e estabelecimento de categorias, agrupando as unidades de registro em categorias comuns de modo progressivo.

Na exploração do material é efetuando a aplicação das codificações, que tem o objetivo segundo Julio *et al.* (2017) tratar os dados brutos e se tornar uma ligação significativa à teoria do pesquisador. A codificação é a transformação dos dados brutos, por meio de recorte, agregação e enumeração, ao qual se representa as características do conteúdo, permitindo a representação de conteúdo ou expressão, suscetível de explicação pelo analista (Bardin, 2011), onde se consegue adjetivar os trechos dos registros.

Para a categorização, o tratamento das informações foi baseado na análise bibliográfica, em particular pela análise contextual e pelo uso de um processo indutivo, por operações de categorização e conceptualização (BUCCIARI, 2014). Os critérios gerais empregados para a obtenção da categorização foram adaptados do conteúdo analisado, os textos analisados são recortados em unidades de registro, a partir da determinação de funções explicativas. Segundo Perroni *et al.* (2015) as unidades de registro, correspondem ao segmento de conteúdo, a considerar como unidade base, visando à categorização correspondente ao segmento de mensagem. Em seguida é realizada a separação dos elementos teóricos por proximidade entre si, fazendo assim a classificação e agregação das informações em categorias simbólicas ou temáticas (SILVA e FOSSÁ, 2015).

3.5.3 Tratamento dos resultados

Concluída a primeira fase, acima descrita, essa fase é destinada ao tratamento dos resultados, de acordo com Bardin (1997) ocorre nela a condensação e o destaque das informações para análise, culminando nas interpretações inferenciais, é o momento da intuição, da análise reflexiva e crítica.

A partir da exploração do material, obteve a lista dos indicadores, onde é feita a descrição da desses indicadores, de forma a clarificar a sua organização e conteúdo, descrevendo o nome do indicador, a descrição, fórmula e fonte. Com a análise dos indicadores, foi realizado a definição de categorias e subcategorias de aplicação desses indicadores. Também foi realizado a descrição dessas categorias e subcategorias, e para a visualização dessa categorização foi desenvolvido um *framework* de categorização dos indicadores de eficiência energética.

3.6 Procedimento para avaliação

No presente estudo, para a avaliação do conteúdo da categorização dos indicadores de eficiência energética, optou-se pela avaliação por meio de entrevista, com a aplicação de um questionário estruturado.

A aplicação da técnica, tem como objetivo a avaliar a categorização dos indicadores de eficiência energética quanto a concordância, relevância e clareza. O processo de avaliação constou das seguintes etapas:

- Seleção do participante;
- Elaboração do roteiro de entrevista;
- Definição do questionário;
- Entrevista de avaliação do *framework* de categorização;
- Análise dos resultados.

3.6.1 Seleção do participante

A definição do participante foi realizada por julgamento de acordo com os critérios estabelecidos, selecionados quanto a fatores de proximidade e acessibilidade. Os critérios de inclusão são, estar ligado a indústria e ter experiência profissional com áreas relacionadas a eficiência energética ou gestão energética. Após a definição do participante, foi enviado via e-mail uma carta de apresentação (Apêndice D).

3.6.2 Roteiro da entrevista

O roteiro de entrevista foi elaborado com base no referencial teórico encontrado, relacionando os atributos para avaliar a categorização dos indicadores de eficiência energética. O roteiro da entrevista estruturada foi elaborado, revisado e modificado de acordo as necessidades (Apêndice E).

3.6.3 Construção do questionário

Com a definição dos participantes responsáveis por julgar o *framework de categorização* dos indicadores de eficiência energética. Foi constituído um termo de consentimento (Apêndice F) e o para a caracterização do participante, o questionário foi composto de dados para caracterização dos participantes, quanto ao grau de formação, área de atuação e tempo de

experiência profissional (Apêndice G). Também é apresentado a descrição do estudo com a proposta de categorização dos indicadores de eficiência energética (Apêndice H).

Para a avaliação do estudo, foi desenvolvido um questionário estruturado, claro e objetivo, para a coleta de informações. O questionário foi definido havendo perguntas objetivas e com espaço aberto para observações ou levantarem algum ponto pertinente não mencionado, a fim de atender os objetivos da pesquisa (Apêndice I), por meio do qual o participante irá avaliar e ponderar sobre o estudo.

A avaliação do *framework* foi dividida em quatro etapas: avaliação das categorias, avaliação das subcategorias, avaliação das relações entre as categorias e subcategorias e avaliação do *Framework*.

Para a avaliação das categorias e subcategorias coube ao entrevistado a avaliação quanto a concordância, SIM ou NÃO para cada um dos tópicos. E a avaliação do atributo das categorias e subcategorias foi realizada quanto ao grau de relevância, em que o entrevistado pode escolher entre os seguintes pontos, discordo fortemente, discordo, não concordo nem discordo, concordo e concordo fortemente. Na avaliação do framework foram analisados os itens: forma de apresentação, clareza formato, usabilidade e relevância (SILVA, 2017, p.32).

Sendo considerado neste estudo como conteúdos adequados, os tópicos que tiveram concordância positiva. E quanto a avaliação dos atributos, foram considerados as observações pertinentes para a adequação do *framework*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia adotada para a etapa de concepção do estudo permitiu uma visão global da aplicação dos indicadores de eficiência energética, contribuindo tanto para a construção do contexto teórico como também para a identificação e seleção dos indicadores de eficiência energética, utilizados para a mensuração da eficiência energética e o framework de categorização dos indicadores de eficiência energética em ambientes industriais.

4.1 Revisão sistemática da literatura

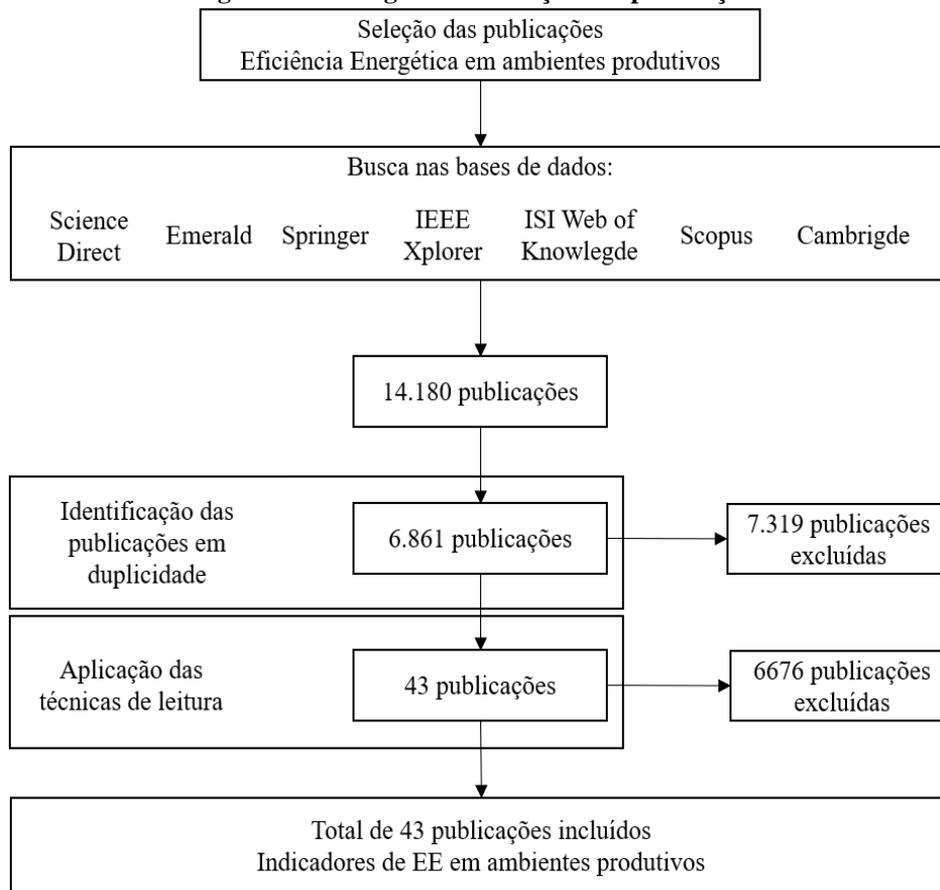
A revisão bibliográfica possibilitou o contato com as publicações na área de eficiência energética, no que se refere aos trabalhos publicados nos periódicos acerca da eficiência energética em ambientes industriais. Com o intuito de atingir os objetivos da pesquisa, com base na questão de pesquisa, as publicações foram selecionadas progressivamente, através da leitura, identificando as publicações que abordam a temática de indicadores de eficiência energética, possibilitando a construção de um referencial teórico inicial.

Após realizar a busca conforme definido na seção 3.4, foram pré selecionados nas bases de dados um total de 14.180 publicações. Ao comparar as publicações de todas as bases de dados para identificar as publicações em duplicidade, excluindo 7.319 publicações. Em seguida, foi realizado a seleção das publicações, através da aplicação das técnicas de leitura e com base nos critérios de inclusão e exclusão (Quadro 1), em que foram excluídas 6.676 publicações, resultando em 43 publicações foram considerados qualificados conforme os critérios definidos, conforme Figura 5.

Com a análise das publicações foram identificadas quarenta e três publicações que atendem os objetivos do estudo, ou seja, contemplam o tema eficiência energética nos ambientes produtivos e que tratam da aplicação e do uso de indicadores de eficiência energética,

no qual constituiu-se um portfólio sobre o assunto a ser trabalhado, visando a apresentação das publicações, que compreende o título, autor, ano e fonte de cada uma (Apêndice B).

Figura 5 – Fluxograma de seleção das publicações.



Fonte: Autoria Própria (2021).

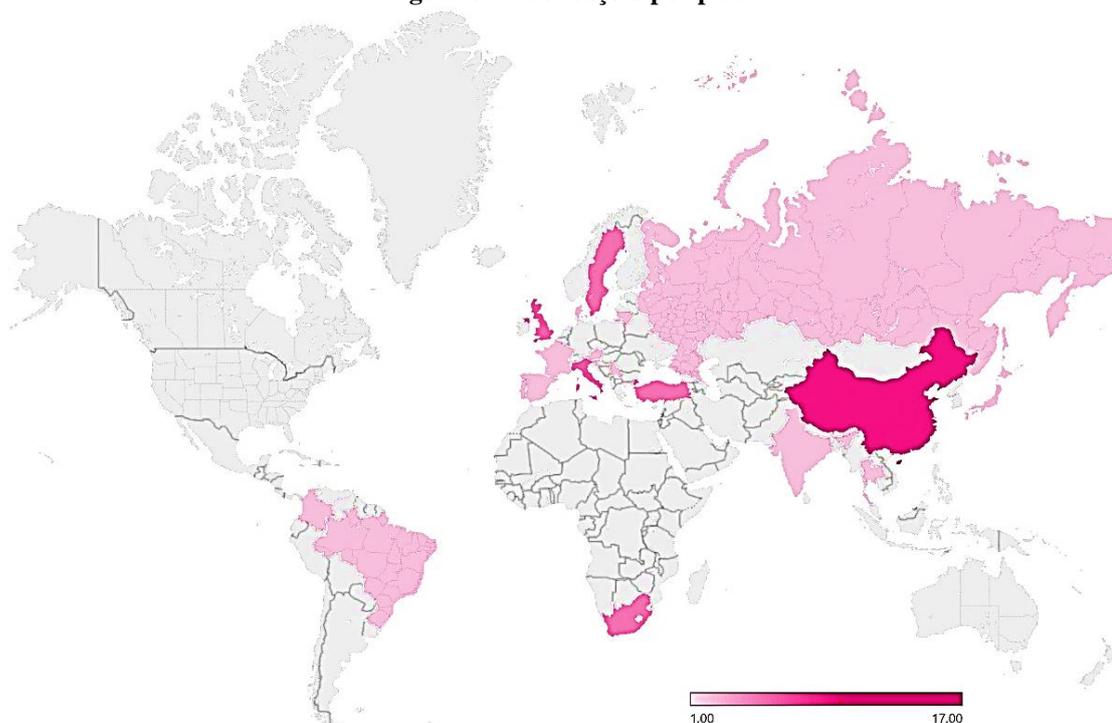
Com a identificação das publicações selecionadas e com o intuito de conhecer o material de estudo foi realizada a análise das publicações obtidas a partir da revisão sistemática. Foi possível obter as informações referentes a cada uma das publicações, para a análise bibliométrica, onde foram levantadas as seguintes informações: ano de publicação, país de estudo, autores, número de citações de cada artigo, periódico de publicação, instituição e as palavras-chave.

Com base no portfólio identificou-se a quantidade de publicações por ano. As publicações selecionadas do ano de 2015 correspondem a 5 publicações, no ano de 2016 foram selecionadas 4 publicações, no ano de 2017 foram 5 publicações selecionadas, destacando o ano de 2018 em que foram identificadas 15 publicações, um aumento de cerca de 33,33% em relação ao ano de 2017, em 2019 foram selecionadas 14 publicações, com esse aumento na quantidade de publicações identificou-se um interesse na área de indicadores de eficiência

energética. No ano de 2020 não foram identificadas, por se tratar do ano corrente do levantamento teórico.

A Figura 6 ilustra a distribuição geográfica das publicações analisadas. A intensidade das cores na figura indica a quantidade de publicações em cada país. A distribuição mostra o interesse pelo tema de forma global, embora a maioria dos estudos tenha enfoque em alguns países. O país mais com maior representatividade na quantidade de publicações foi a China, com 17 publicações, dentro do período analisado, dentro do período analisado. Após, tem-se os Reino Unido e Itália, com 3 publicações cada. Em seguida se destaca com 2 publicações cada, África do Sul, Suécia e Turquia, e outros quatorze países com uma publicação cada.

Figura 6 – Publicações por país.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Foi possível também identificar dentre os 160 autores do portfólio, três autores tiveram sua contribuição com o tema de pesquisa evidenciadas, nos quais apresentaram duas publicações cada, são eles *Haidong Yang*, *Wei Cai* e *Yingfeng Zhang*.

Para determinar o nível de relevância acadêmica das publicações selecionadas, em relação a quantidade de vezes que as publicações foram citadas, foram identificadas 8 publicações com mais de 26 citações cada, representando 54.72% das citações de todas as publicações. As publicações mais citadas, são: “*Sources of energy productivity change in China during 1997 a 2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity*

indicator”, (Wang e Wei, 2016), China, periódico “*Energy Economics*, com 55 citações; *Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry*” (Peng *et al.*, 2015), China, periódico *Energy Policy*, com 47 citações; “*Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey*”, (Özkara e Atak, 2015), Turquia, periódico *Energy*, com 37 citações; “*Sustainable value and cleaner production - Research and application in 19 Portuguese SME*”, (Henriques e Catarino, 2015), Portugal, periódico *Journal of Cleaner Production*, 34 citações; “*Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector*”, (Cagno; Ramirez-Portilla; Trianni, 2015), Itália, periódico *Energy Policy*, com 30 citações; “*A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries*”, (Zhang, Y. *et al.*, 2018), China, periódico *Journal of Cleaner Production*, com 28 citações; “*A study on lot-size dependence of the energy consumption per unit of production throughput concerning variable lot-size*”, (Hibino; Horikawa; Yamaguchi, 2019), Japão, periódico *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing*, com 27 citações e “*Decomposition of energy efficiency and energy-saving potential in China: A three-hierarchy meta-frontier approach*”, (Feng *et al.*, 2018), China, periódico *Journal of Cleaner Production*, com 26 citações.

Os periódicos que apresentaram maior número de publicações relacionadas ao tema são apresentados na tabela 2, em destaque o periódico *Journal of Cleaner Production*, com 14 publicações, e os periódicos *Energy*, *Energy Policy*, *Applied Energy*, com mais de 4 publicações, que representa 69,76% do total das publicações.

Tabela 2 – Quantidade de artigos por periódicos

Periódico	Artigos
Journal of Cleaner Production	14
Energy	6
Energy Policy	6
Applied Energy	4
Energy Conversion and Management	2
Energy Efficiency	2
Advances in Production Engineering \& Management	1
Energy and Buildings	1
Energy Economics	1
Energy Procedia	1
International Journal of Computer Integrated Manufacturing	1
International Journal of Energy Economics and Policy	1
International Journal of Energy Research	1
Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing	1
Journal of Environmental Management	1

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

As instituições que se destacaram, tiveram 2 publicações cada selecionadas nesse estudo, são elas Beijing Institute of Technology, Chongqing University, Dalian University of Technology e Northwestern Polytechnical University e outras 35 instituições tiveram apenas uma publicação (Tabela 3). Sendo todas instituições destacadas com mais de uma publicação pertencentes ao mesmo país, a China, no qual demonstra a aplicação do país para contribuir com o desenvolvimento da eficiência energética.

Tabela 3 – Quantidade de artigos por instituições de pesquisa

Instituição	Artigos	Instituição	Artigos
Beijing Institute of Technology	2	North-West University	1
Chongqing University	2	Université de Lorraine	1
Dalian University of Technology	2	Sapienza Università di Roma	1
Northwestern Polytechnical University	2	Shanghai Jiao Tong University	1
Anhui University of Technology	1	Suzhou University	1
Central South University	1	Technical University of Denmark	1
China University of Petroleum-Beijing	1	Pontifical Catholic University of Paraná	1
Chulalongkorn University	1	Tokyo University of Science	1
Durham University	1	Tsinghua University, Beijing	1
Economics and Industrial Engineering	1	Universidad de la Costa	1
Gazi University	1	Marche Polytechnic University	1
International Institute for Applied Systems Analysis	1	The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences	1
Istanbul Technical University	1	Universidade Autònoma de Barcelona	1
Jiangxi Normal University	1	University of Belgrade	1
Jozef Stefan Institute	1	University of Cambridge	1
Linköping University	1	University of Greenwich	1
Linnaeus University	1	University of Stellenbosch	1
LNEG	1	Vilnius Gediminas Technical University	1
Management Development Institute	1	Xiamen University	1
North China Electric Power University	1		

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Na análise das palavras-chave identificou-se dentre as 167 palavras-chave das publicações, que o termo Eficiência energética é a mais recorrente, onde aparece dezessete vezes, seguida por Manufatura sustentável (4), Consumo de energia (3), ISO50001 (3), Produção mais limpa (2), Análise envoltória de dados (2), Gestão de energia (2), Desempenho energético (2), Política energética (2), Economia de energia (2), Análise exergética (2), Indústria (2), Siderurgia (2), Produtividade (2), e Eficiência de recursos (2). O destaque das palavras-chave utilizadas nas publicações, retrata a Lei de Zipf, de modo que através da compilação da quantidade das palavras-chave presentes nas publicações, é possível conhecer

produtivos e manutenção da indústria.

4.2 Abordagem de categorização dos indicadores

No presente estudo, a classificação e definição das categorias e subcategorias dos indicadores emergiram da literatura selecionada, foi realizada por semelhança ou analogia. A partir do portfólio construído na revisão sistemática, onde foi realizado o mapeamento do tema da pesquisa na área de indicadores de eficiência energética nos ambientes industriais, foi realizado a análise dessas publicações e a seleção dos indicadores. Essa análise serviu de base para o desenvolvimento da elaboração da categorização dos indicadores de eficiência energética nos ambientes industriais. Nesta etapa, da análise de conteúdo, realizou-se a codificação, o recorte das unidades de registro das publicações encontradas, a enumeração e a categorização dos indicadores. é mostrada no Apêndice C.

A análise do conteúdo se iniciou com a leitura flutuante das publicações para a constituição do *corpus*, que teve como foco a identificação e seleção dos indicadores de eficiência energética nas publicações. Através da leitura das publicações, procurou-se selecionar os indicadores que pudessem ser expostos de modo objetivo, para constituir um portfólio que possa ser objetivamente identificável.

Como resultado desse primeiro levantamento, foram elencados 127 indicadores, após avaliar as informações relacionadas a esses indicadores, verificou-se que onze desses indicadores, não estavam relacionadas com a eficiência energética diretamente, e verificou-se ainda que dezessete deles tinham a mesma finalidade que outros indicadores, sendo esses agrupados. Como resultado, esta etapa gerou uma listagem de 99 indicadores, que mostra um extenso conjunto de indicadores que atendem a medição da eficiência energética da manufatura, que é apresentada a seguir no Quadro 2, na próxima sessão.

Essa etapa de seleção dos indicadores, consistiram em identificar as características desses indicadores, sendo reunidos em uma planilha eletrônica, informações de cada indicador coletadas, que são o nome do indicador, descrição, a fórmula de cálculo e suas variáveis e a fonte de origem do indicador, cada indicador foi identificado com um ID, código de identificação.

Através da análise das publicações e dos indicadores nelas selecionados, foram realizadas as codificações, que se deu em função da aplicação e da finalidade dos indicadores explícitos no texto, utilizando letras e números, onde foi realizado o recorte de uma parte do texto, como uma unidade de registro, facilitando o trabalho de tabulação das informações e,

possibilitar uma rápida visualização e interpretação dos dados para a definição da categorização dos indicadores, Apêndice C.

Através da análise dos materiais, dos assuntos da unidade de registro utilizada, com o objetivo de compreender a diversidade dos dados, os indicadores que apresentaram características comuns foram agrupados, em função de sua significância com base em suas propriedades, aplicações potenciais, de acordo com as especificidades e características comuns, formaram-se as categorias. Assim, de acordo com o nível de abrangência, e da ligação dos indicadores com as medidas de desempenho da organização, é estabelecido uma ligação entre a estratégia da organização e as operações, e também reflete e incorpora a relação de eficiência energética com o conceito de níveis de medição entre os níveis de hierarquia estratégica e dos setores de aplicações dos indicadores de eficiência energética na indústria, as categorias dos indicadores foram constituídas em sete níveis de objetivos e medidas, que são: setor, regional, sistemas, subsistemas, máquinas, equipamentos e componentes.

A partir dos dados coletados e da análise dos indicadores por meio de um processo indutivo, também foi possível definir as subcategorias dos indicadores de eficiência energética, no que diz respeito ao nível de abstração dos tomadores de decisão, principalmente em termos de consumidores de energia e funções de uso (Hoang *et al.*, 2014). As subcategorias que emergiram dessa análise foram nomeadas como: resultado, estratégia, econômico, impacto ambiental, processo, entrada, saída, perda, recurso e função.

Após a investigação dos pontos em comum entre os elementos teóricos, foi possível verificar que a categorização de indicadores para o diagnóstico de eficiência energética em ambientes industriais poderia ser classificada nos níveis organizacionais de medição (HOANG; DO; IUNG, 2017; GONG; SHAO; ZHU, 2019b). Assim, os indicadores foram classificados nos seguintes níveis: nível estratégico, tático e operacional.

4.2.1 Indicadores de eficiência energética

Os indicadores de eficiência energética selecionados nas publicações são descritos e apresentados no Quadro 2, contendo a ID (identificação do indicador), o nome, a descrição, a fórmula de cálculo, as variáveis e a fonte em que o indicador foi encontrado. O conjunto completo dos indicadores não é aplicável a todas as empresas, sendo esses indicadores relacionados como um referencial, para auxiliar na escolha de indicadores na indústria.

Quadro 2 – Indicadores de Eficiência Energética

Identificação		Características dos indicadores
ID01	Indicador	Eficiência energética direta
	Descrição	Esse indicador de eficiência energética direta mede a eficiência energética por fonte de energia. A matriz de indicadores utiliza a relação de desempenho mínimo / desempenho atual, ou seja, compara o conteúdo mínimo de energia direta por unidade de produção usada no processo com a energia direta por unidade de produção usada em um período específico de tempo. O conteúdo de energia também é conhecido como consumo de energia específico ou intensidade de energia.
	Fórmula	$DEE = \frac{\min_{t=1 \rightarrow k} [E\hat{X}^{-1}]_t}{[E\hat{X}^{-1}]_t} \equiv \frac{\min_{t=1 \rightarrow k} \left[\frac{E_{ij}}{X_j} \right]_t}{\left[\frac{E_{ij}}{X_j} \right]_t} =$ $\frac{\text{matriz de conteúdo mínimo de energia direta do processo empresarial estendido}}{\text{matriz do conteúdo atual de energia direta do processo empresarial estendido}}$
	Variáveis	$e_{ij} = \frac{E_{ij}}{X_{ij}} = E\hat{X}^{-1}$ Coeficiente de energia direta.
	Fonte	Perroni <i>et al.</i> (2018)
ID02	Indicador	Mudança na eficiência energética direta
	Descrição	O indicador revela flutuações de curto prazo, porque é uma linha de base móvel. Esse indicador divide a matriz de conteúdo energético do período atual pela matriz do período anterior, revelando flutuações de curto prazo, porque é uma linha de base móvel.
	Fórmula	$CDEE = \left - \left\{ \frac{[E\hat{X}^{-1}]_t}{[E\hat{X}^{-1}]_{t-1}} - 1 \right\} \equiv - \left\{ \frac{\left[\frac{E_{ij}}{X_j} \right]_t}{\left[\frac{E_{ij}}{X_j} \right]_{t-1}} - 1 \right\} \right =$ $\frac{\text{matriz de conteúdo mínimo de energia direta do processo empresarial estendido}}{\text{matriz do conteúdo atual de energia direta do processo empresarial estendido}}$
	Variáveis	$e_{ij} = \frac{E_{ij}}{X_{ij}} = E\hat{X}^{-1}$ Coeficiente de energia direta
	Fonte	Perroni <i>et al.</i> (2018)
ID03	Indicador	Eficiência energética indireta
	Descrição	Esse indicador tem por objetivo medir a energia incorporada dos produtos ou demanda acumulada de energia. Esse indicador baseia-se na razão do fluxo da matriz de indicadores do modelo de processo de entrada e saída, levando em consideração a energia direta incorporada ao processo e a energia indireta de todos os processos relacionados. Pode ser operacionalizado pela razão entre o conteúdo mínimo de energia da corrente final (direta e indireta).
	Fórmula	$IEE = \frac{\min_{t=1 \rightarrow k} [EDCA^{-1}]_t}{[EDCA^{-1}]_t} =$ $\frac{\text{matriz de conteúdo mínimo de energia direta + indireta do processo empresarial estendido}}{\text{matriz do conteúdo de energia direta e indireta atual do processo empresarial estendido}}$
	Variáveis	$[EDCA^{-1}]_t = EDCA^{-1}$ = coeficiente de energia indireta, t e k
	Fonte	Perroni <i>et al.</i> (2018)
ID04	Indicador	Eficiência energética relativa
	Descrição	Esse indicador é baseado na maximização da produtividade energética. Sua estrutura é baseada no conteúdo de energia, que pode ser implementado usando o modelo multiplicador ou o modelo de envelopamento.
	Fórmula	$REE = \left \begin{array}{l} \max \frac{\sum_{r=1}^s U_r X_{ro}}{\sum_{i=1}^m V_i E_{ro}} = \max \frac{\text{Saída do processo}}{\text{Entrada do processo}} = \text{energia produtiva} \quad . \\ \frac{\sum_{r=1}^s U_r X_{rt}}{\sum_{i=1}^m V_i E_{it}} \leq 1 \quad t = 1, \dots, k \quad . \\ U_r V_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \end{array} \right $
	Variáveis	U_r = Pesos de produção (tonelada) E_{ro} = Entrada X_{ro} = Saída V_i = Peso de entrada E_{it} = Períodos de entrada X_{rt} = Períodos de saída
	Fonte	Perroni <i>et al.</i> (2018)
ID05	Indicador	Consumo de energia no setor

	Descrição	Esse indicador contabiliza o consumo de energia industrial do setor (Wh/ton.), envolve duas etapas, onde a primeira etapa é a definição do ano base, no qual podemos obter o consumo de energia e parâmetros relacionados ao setor e a segunda etapa é calculado os resultados, somando as mudanças de produção, os parâmetros industriais e de tecnologia entre o ano base e o ano de previsão.
	Fórmula	$CE = \sum_{I=1} P_t + \Delta t f_i + \Delta t, i \left(E_{t,i} - \sum_{j=1} T_{ij} \Delta PR_{I,j} \right)$
	Variáveis	P_t = Produção de aço bruto (ton., -x10 ⁶ t) $\Delta t f_j$ = Taxa de penetração da tecnologia em comparação com o ano base (%) Δt = Comparação com o ano base (t) $E_{t,i}$ = Consumo de energia de cada processo (Kgce/t) T_{ij} = Eficiência energética das tecnologias $\Delta PR_{I,j}$ = Taxa de penetração da tecnologia no ano (%) i = Processo da indústria J = Proporção de aço t = ano
	Fonte	Pelser; Vosloo e Mathews (2018)
ID06	Indicador	Desempenho energético na unidade de evaporação
	Descrição	O indicador de energia na unidade de evaporação (kWh/kg de água evaporada), é utilizado para medir o desempenho da unidade evaporadora, é definido como a medida absoluta do fluxo de vapor de baixa pressão para o primeiro efeito do evaporador para atingir a evaporação de água desejada.
	Fórmula	$V = \frac{m_{LP} X (H_{LP} - h_{LP})}{M_{Evap}}$
	Variáveis	m_{LP} = Vapor LP (ton./h) H_{LP} = Vapor LP (x) h_{LP} = Vapor condensado LP M_{Evap} = Água evaporada LP = vapor de baixa pressão
	Fonte	Mkwananzi; Mandegari; Görgens (2019)
ID07	Indicador	Consumo de energia na unidade de cristalização
	Descrição	O indicador é utilizado para monitorar o vapor consumido na unidade (kWh/Kg de água evaporada), que é utilizada como ferramenta de previsão de energia e construção dos parâmetros da energia na unidade evaporadora.
	Fórmula	$C = \frac{m_{pan} X (h_{pan} - h_{pan})}{m_{Crys}}$
	Variáveis	m_{pa} = Vapor na panela (kWh/Kg) h_{pan} = Vapor na panela h_{pan} = Vapor condensado da panela m_{Crys} = Água evaporada HP = Vapor de alta pressão
	Fonte	Mkwananzi; Mandegari; Görgens (2019)
ID08	Indicador	Consumo de energia comparável
	Descrição	Esse indicador de consumo de energia comparáveis do subprocesso são propostos para superar o problema da falta de eficiência energética comparações entre diferentes subprocessos.
	Fórmula	$EE_{ip} = \frac{\sum_{i=1}^{NO_{ip}} e_i \xi_i}{\sum_{i=1}^{NI_{ip}} e_i \xi_i}$
	Variáveis	e_i = Meio de energia ξ_i = Fator de conversão de valor calorífico de energia NI_{ip} = Número de meios de energia de entrada no processo interno NO_{ip} = Número de meios de energia de saída no processo interno i = Meio de energia
	Fonte	Gong; Shao; Zhu (2019b)
ID09	Indicador	Eficiência energética
	Descrição	Esse indicador indica a energia de entrada e saída de nível de componentes dentro de uma unidade de tempo de (t-1) para t (hora, um dia, um mês etc.), dependendo do intervalo de tempo da tomada de decisão (kW).
	Fórmula	$EEI^i(t) = \frac{E^i t}{O^i t'}$
	Variáveis	E^i = Energia consumida (kW)

		O^i = Saída útil do componente em uma unidade de tempo (kW) t = Tempo de (t-1) para t (hora, dia, mês, etc.) dependendo do intervalo de tempo da tomada de decisão
	Fonte	Hoang; Do; Iung (2017)
ID10	Indicador	Consumo total de energia total de um componente
	Descrição	Esse indicador mede o consumo total de energia (toneladas de carvão, kWh etc.). Assim, para calcular a energia total de um componente / sistema, suas entradas de energia expressas em diferentes formas precisam ser convertidas em uma unidade comum, pode ser calculado com a seguinte formulação.
	Fórmula	$E^i = \sum_{j=1}^l \theta_{ij} ET_{ij}$
	Variáveis	θ_{ij} = Fator de conversão de energia do tipo de energia j para a unidade de energia comum ET_{ij} = Quantidade de fontes de energia consumidas j ($j = 1-l$) j = Tipo de energia i = Componente (kWh, Wh, BTU, etc.)
	Fonte	Hoang; Do; Iung (2017)
ID11	Indicador	Eficiência Energética do sistema
	Descrição	O indicador calcula a eficiência energética do sistema é composto por n componentes interconectados de acordo com uma determinada configuração (BTU, tonelada, kWh, calorias, etc./t).
	Fórmula	$EEI^{\Sigma}(t) = \frac{E^{\Sigma}(t)}{O^{\Sigma}(t)}$
	Variáveis	E^{Σ} = Consumo total de energia (gás, combustível, eletricidade, etc.) O^{Σ} = Total de saída útil durante uma unidade de tempo de (t-1) (BTU, tonelada, kWh, calorias, etc.) t = (unidade de tempo)
	Fonte	Hoang; Do; Iung (2017)
ID12	Indicador	Energia total consumida no componente
	Descrição	O cálculo de energia total a partir da entrada de seus componentes (Wh). A unidade exclusiva de entrada de energia para diferentes componentes também pode ser diferente. Para avaliar a energia total consumida da função / sistema, toda a entrada de energia dos componentes a jusante precisa ser convertida em uma energia comum, por exemplo, kWh.
	Fórmula	$E^{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \lambda^i E^i(t)$
	Variáveis	λ^i = Fator de ponderação de energia ($\lambda^1 = \lambda^3 = 1$ e $\lambda^2 = 0.000293$) E^i = Energia total consumida pelo componente (Wh) n = componentes
	Fonte	Hoang; Do; Iung (2017)
ID13	Indicador	Eficiência Energética do componente
	Descrição	Esse indicador avalia os componentes, é usado para estimar o desempenho da eficiência energética (kWh).
	Fórmula	$EEI^{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \lambda^i \frac{O^i(t)}{O^{\Sigma}(t)} EEI^i(t)$
	Variáveis	λ^i = Fator de ponderação O^i = Saída útil do componente em uma unidade de tempo O^{Σ} = Total de saída útil durante uma unidade de tempo (de(t-1))
	Fonte	Hoang; Do; Iung (2017)
ID14	Indicador	Custo de energia
	Descrição	Esse indicador de economia de custo de energia, é utilizado para o gerenciamento do uso de energia e eliminando o desperdício de energia e melhorando o desempenho energético (\$/kWh).
	Fórmula	$C_e = V \times E$
	Variáveis	V = Representa o valor do kWh (\$/kWh) E = Energia elétrica (kWh)
	Fonte	Prashar (2019)
ID15	Indicador	Consumo específico de energia
	Descrição	Esse indicador representa o consumo de energia, onde o item pode ser definido por unidade de produção, por unidade econômica do valor bruto da produção (ton., R\$, kg e m ³).
	Fórmula	$CEE = \frac{E}{P}$
	Variáveis	E = Consumo de energia (kWh) P = Produção mercadoria (ton., \$, kg e m ³)

	Fonte	Cagno; Ramirez-Portilla; Trianni (2015), Peng <i>et al.</i> (2015), Wang, W. <i>et al.</i> (2017), Morejón <i>et al.</i> (2019) e Pelser; Vosloo; Mathews (2018)
ID16	Indicador	Consumo de descarga de poluentes do sistema
	Descrição	Esse indicador avaliar o desempenho da sustentabilidade ambiental, expressa a contribuição do impacto ambiental relativo da redução do consumo de exergia da descarga de poluentes do sistema à soma do consumo de exergia na subunidade ou em todo o sistema (%).
	Fórmula	$\varphi_{tot} = \frac{\Sigma AbalEx_k}{\Sigma (CExC_k + AbalEx_k)} \times 100\%$
	Variáveis	AbatEx _k = Redução do consumo de exergia de descarga de poluentes (KJ/Kg) CExC _k = Consumo cumulativo de exergia (MJ/Kg) k = Subunidade Quando o valor de φ na subunidade "k" é maior, isso indica que o consumo de exergia de redução da descarga de poluentes AbalEx _k é maior, ou seja, a quantidade de emissões de resíduos é maior.
	Fonte	WANG, Q. <i>et al.</i> (2019)
ID17	Indicador	Fator de impacto ambiental
	Descrição	O indicador expressa a contribuição do impacto ambiental relativo da redução do consumo de exergia da descarga de poluentes à soma do consumo de exergia na subunidade ou em todo o sistema (%). Quando maior o valor de φ na subunidade k, maior o consumo de exergia de redução da descarga de poluentes é maior, ou seja, a quantidade de emissões de resíduos é maior.
	Fórmula	$\varphi_k = \frac{AbalEx_k}{CExC_k + AbalEx_k} \times 100\%$
	Variáveis	AbatEx _k = Redução do consumo de exergia de descarga de poluentes (KJ/Kg) CExC _k = Consumo cumulativo de exergia (J/Kg) k = subunidade
	Fonte	Wang <i>et al.</i> (2019)
ID18	Indicador	Eficiência de utilização de recursos
	Descrição	Esse indicador é utilizado para quantificar o requisito exergético de um sistema de conversão de energia (%). É constituído com a finalidade de avaliar a sustentabilidade exergética dos recursos da natureza.
	Fórmula	$\eta_{not} = \frac{\Sigma Ex_{p,k}}{\Sigma CExC_k} \times 100\%$
	Variáveis	Ex _{p,k} = Exergia do produto na subunidade (kJ/Kg) CExC _k = Consumo cumulativo de exergia de recursos e utilidades (MJ/Kg)
	Fonte	WANG, Q. <i>et al.</i> (2019)
ID19	Indicador	Eficiência de utilização de recursos
	Descrição	O indicador é utilizado para avaliar a sustentabilidade exergética dos recursos e serviços, incluindo suas cadeias de suprimentos durante as fases de construção, operação, manutenção e descomissionamento (%), para quantificar o requisito exergético de um sistema de conversão de energia.
	Fórmula	$\eta_k = \frac{Ex_{p,k}}{CExC_k} \times 100\%$
	Variáveis	EX _{p,k} = Exergia do produto na subunidade (KJ/s) CExC _k = Consumo cumulativo de exergia (KJ/s)
	Fonte	Wang <i>et al.</i> (2019)
ID20	Indicador	Consumo cumulativo de exergia
	Descrição	O indicador é o somatório da demanda de energia de recursos e serviços, de cada subunidade do sistema (MJ/Kg), incluindo suas cadeias de suprimentos durante as fases de construção, operação e manutenção e descomissionamento.
	Fórmula	$CExC_k = \Sigma CExC_r m_i + \Sigma CExC_{com,j}$
	Variáveis	CExC _{r.m_i} = Consumo cumulativo de exergia na subunidade (MJ/Kg) CExC _{com,j} = Consumo cumulativo de exergia no componente (MJ/Kg) m _i = Indica a vazão mássica do recurso (Kg/s) j = Componente i = Tipo de recurso
	Fonte	Wang <i>et al.</i> (2019)
ID21	Indicador	Consumo cumulativo de exergia
	Descrição	O indicador calcula o consumo cumulativo de exergia de recursos e utilidades por unidade de produto (J/Kg). O consumo cumulativo de exergia é o somatório da demanda de exergia de recursos e serviços públicos, incluindo suas cadeias de suprimentos durante as fases de construção, operação e manutenção e descomissionamento.
	Fórmula	$CExC_{com,j} = CExC_{com,j}^{CO} + CExC_{com,j}^{OM} + CExC_{com,j}^{DE}$

	Variáveis	$CExC_{com,j}^{CO}$ = Construção $CExC_{com,j}^{OM}$ = Consumo cumulativo de energia operação e manutenção (J/Kg) $CExC_{com,j}^{DE}$ = Consumo cumulativo de energia descomissionamento (J/Kg) <i>i</i> = Denota o tipo de recursos, e indica a vazão mássica do recurso <i>i</i> <i>j</i> = Denota a espécie componente
	Fonte	Wang <i>et al.</i> (2019)
ID22	Indicador	Impacto ambiental das emissões de resíduos
	Descrição	O indicador é usado como uma medida do impacto ambiental das emissões de resíduos por unidade de produto selecionado na subunidade. Pode ser visto como a exergia necessária nesses processos que reduzem as emissões de resíduos em um nível aceitável, e esse indicador fornece números absolutos de exergia para avaliar o impacto ambiental das emissões de resíduos sem a necessidade de fatores de classificação ou ponderação.
	Fórmula	$AbalEx_k = \Sigma AbalEx_h . m_h + \Sigma AbalEx_{com,j}$
	Variáveis	$AbalEx_h$ = Consumo de exergia por unidade de massa de poluente m_h = Taxa de fluxo de massa do poluente (t/s, t/h, etc.) $AbalEx_{com,j}$ = Consumo de exergia de descarga de poluentes do componente <i>h</i> = Poluente <i>j</i> = Componente
	Fonte	Wang <i>et al.</i> (2019)
ID23	Indicador	Medida do impacto ambiental das emissões de resíduos
	Descrição	Esse indicador é usado como uma medida do impacto ambiental das emissões de resíduos por unidade de produto selecionado na subunidade, pode ser visto como a exergia necessária nesses processos que reduzem as emissões de resíduos em um nível aceitável.
	Fórmula	$AbalEx_{com,j} = AbalEx_{com,j}^{CO} + AbalEx_{com,j}^{OM} + AbalEx_{com,j}^{DE}$
	Variáveis	$AbalEx_{com,j}^{CO}$ = Construção $AbalEx_{com,j}^{OM}$ = Operação e manutenção $AbalEx_{com,j}^{DE}$ = Descomissionamento
	Fonte	Wang <i>et al.</i> (2019)
ID24	Nome	Consumo total de energia do processo
	Descrição	O indicador calcula o consumo de energia do processo dentro do ciclo estatístico (tce).
	Fórmula	$E = E_0 + k . P$
	Variáveis	E_0 = Consumo de energia não diretamente relacionado com a produção (tce). K = Intensidade de energia do estado de produção normal (tce/t) P = Processo de produção (t)
	Fonte	CHEN <i>et al.</i> (2017)
ID25	Indicador	Consumo de energia eventos de inatividade
	Descrição	Esse indicador representa o consumo de energia por eventos de inatividade é utilizado para medir a unidade durante o período de tempo [0, T] eventos de inatividade (kWh)
	Fórmula	$EP_d = \frac{\sum_{j=1}^N [P_{p,j} (U_{i \in \eta^*} [t_i + d_i^* + d_i] - \sum_{k=1}^{\eta_j} d_k - (1 - \alpha) T_{id,j})]}{(T - U_{i \in \eta^s} [t_i + d_i^* + d_i]) T_{N^*}}$
	Variáveis	$P_{p,j}$ = é o consumo de energia nominal da máquina <i>j</i> enquanto a máquina produz peças (kW) t_i = Tempo ocioso (t) d_i^* = Tempo de inatividade (t) d_k = Tempo de inatividade da estação <i>k</i> (h) α = Relação de consumo de energia da máquina em estado inativo e funcionando (kWh) $T_{id,j}$ = tempo durante o qual a máquina está ociosa (h) η_j = número total de eventos de tempo de inatividade para a máquina <i>d_i</i> e T_{N^*}
	Fonte	Bajpai; Fernandes; Tiwari (2018)
ID26	Indicador	Consumo de energia por unidade
	Descrição	O indicador é utilizado para medir a energia consumida em uma máquina durante um período de tempo em parte do sistema de fabricação (kWh).
	Fórmula	$EP = \frac{\sum_{j=1}^N [P_{p,j} (T - \sum_{k=1}^{\eta_j} d_k - (1 - \alpha_j) T_{id,j})]}{(T - U_{i \in \eta^s} [t_i + d_i^* + d_i]) T_{N^*}}$
	Variáveis	$P_{p,j}$ = Consumo de energia nominal da máquina <i>j</i> enquanto a máquina produz peças (kW) T = Período de tempo (t) η_j = Número total de eventos de tempo de inatividade para a máquina

		d_k = Tempo de inatividade da estação k (t) α_j = Relação de consumo de energia da máquina em estado inativo e funcionando (kWh) $T_{id,j}$ = Tempo durante o qual a máquina está ociosa, t_i , d_i^* , d_i e T_{N^*} (t)
	Fonte	Bajpai; Fernandes e Tiwari (2018)
ID27	Indicador	Consumo de energia por unidade sem eventos de interrupção
	Descrição	O indicador de consumo de energia por unidade de parte do sistema de fabricação durante o período de tempo, conforme resultado de eventos de interrupção (kWh). É de natureza dinâmica, onde a eficiência energética e a produtividade ou a contagem de produção são acopladas em um único sistema dinâmico.
	Fórmula	$EP_e = \frac{\sum_{j=1}^N P_{p,j} T}{\frac{T}{T_{N^*}}} = T_{N^*} \sum_{j=1}^N P_{p,j}$
	Variáveis	$P_{p,j}$ = Consumo de energia nominal da máquina j (kW) N = Estações N^* = Estação mais lenta da linha T = Período de tempo da estação mais lenta da linha (t)
	Fonte	Bajpai; Fernandes; Tiwari (2018)
ID28	Indicador	Desempenho do consumo de energia
	Descrição	O indicador é utilizado para demonstrar o desempenho do sistema de fabricação em contraste com o consumo de energia por peça e demonstra o desperdício de energia quando nos eventos de inatividade (kWh).
	Fórmula	$PI = \frac{EP_e}{EP} = \frac{\sum_{j=1}^N [P_{p,j}(T - U_{i \in \eta^s} [t_i + d_i^*, t_i + d_i])]}{\sum_{j=1}^N [P_{p,j}(T - \sum_{k=1}^{\eta_j} d_k - (1 - \alpha_j) T_{id,j})]}$
	Variáveis	EP_e = Consumo de energia por unidade de peça sem eventos de interrupção (kW) $P_{p,j}$ = Consumo de energia nominal na máquina enquanto a máquina produz peças (kW) T = Período de tempo $[0, T)$ j = Máquina t_i = Tempo ocioso (t) d_i^* = Tempo de inatividade (t) EP = Consumo líquido de energia por unidade de peça (kWh) η_j = Número total de eventos de tempo de inatividade d_k = Tempo durante o qual a máquina não está operando (t) α_j = Relação de consumo de energia da máquina em estado inativo e funcionando (kWh) $T_{id,j}$ = Tempo durante o qual a máquina está ociosa (t)
	Fonte	Bajpai; Fernandes; Tiwari (2018)
ID29	Indicador	Energia consumida durante a marcha lenta
	Descrição	O indicador mede a energia consumida pela máquina durante o seu estado de marcha lenta durante a produção (kWh).
	Fórmula	$P_{id,j} = \alpha_j \cdot P_{p,j}$
	Variáveis	α_j = Relação de consumo de energia da máquina j em estado inativo e funcionando (kWh) $P_{p,j}$ = Consumo de energia nominal na máquina j enquanto a máquina produz peças (kWh)
	Fonte	Bajpai; Fernandes; Tiwari (2018)
ID30	Indicador	Consumo líquido de energia
	Descrição	O indicador mede o consumo líquido de energia por unidade de peças, gargalo de energia (kWh). Esse indicador ajuda a determinar a direção do investimento para a substituição de uma máquina antiga por uma máquina com uso eficiente de energia, ou seja, eficiência energética. A substituição da máquina é uma atividade intensiva em recursos e não pode ser feita em um regularmente, assim os resultados do deste indicador são relatados em uma escala anual.
	Fórmula	$PBN = \alpha_j \left(T - \sum_{k=1}^{\eta_j} d_k \right) + (1 - \alpha_j) T_{p,j} > \alpha_i \left(T - \sum_{k=1}^{\eta_i} d_k \right) + (1 - \alpha_i) T_{p,i}$
	Variáveis	α_j = Relação de consumo de energia da máquina em estado inativo e funcionando (kWh) T = Tempo de ciclo da estação (máquina) (t) η_j = Número total de eventos de tempo de inatividade para a máquina j d_k = Tempo de inatividade da estação k (t) $T_{p,j}$ = Tempo durante o qual a máquina j produz peças (t) d_k = Tempo de inatividade da estação k e i , $\forall i \neq j$ (t)
	Fonte	Bajpai; Fernandes; Tiwari (2018)
ID31	Indicador	Energia total consumida pela linha de produção
	Descrição	O indicador representa o consumo total de energia da linha de produção e outros símbolos têm seus

		significados usuais (kWh).
	Fórmula	$E = \sum_{j=1}^N [P_{p,j}(T - \sum_{k=1}^{\eta_j} d_k - (1 - \alpha_j)T_{id,j})]$
	Variáveis	$P_{p,j}$ = Consumo de energia nominal na máquina enquanto produz peças (kWh) j = Máquina T = Período de tempo [0, T) d_k = Tempo durante o qual a máquina não está operando (t) α_j = Relação de consumo de energia da máquina em estado inativo e funcionando (kWh) $T_{id,j}$ = Tempo durante o qual a máquina está ociosa (t)
	Fonte	Bajpai; Fernandes; Tiwari (2018)
ID32	Indicador	Intensidade energética econômica
	Descrição	Esse indicador busca medir a eficiência na utilização do recurso energia na produção e geração de renda (kWh/R\$). A intensidade energética é a procura de energia total de um país ou região, é razão entre o consumo interno bruto, e energias renováveis e pelo seu produto interno bruto (PIB) calculado em PPC (padrões de poder de compra), ou seja, uma moeda comum que elimina as diferenças nos níveis de preços entre os países, permitindo comparações significativas de volume do PIB entre os países.
	Fórmula	$IEE = \frac{CIB}{PIB}$
	Variáveis	CIB = Consumo interno bruto de energia (kWh) PIB = Representa a renda gerada pela economia em um determinado período de tempo (R\$)
	Fonte	Hernandez <i>et al.</i> (2018)
ID33	Indicador	Intensidade energética física
	Descrição	Esse indicador reflete a eficiência na relação consumo – produto (GJ/ton.), são medidas de consumo de energia e de seus fatores determinantes (ex. produção física, crescimento populacional, hábitos culturais), que são capazes de descrever relações entre o consumo de energia e da atividade humana tanto de forma agregada como desagregada.
	Fórmula	$IE = \frac{E}{P}$
	Variáveis	E = Consumo total anual de energia do setor (GJ) P = Volume de produção anual (ton.)
	Fonte	Hernandez <i>et al.</i> (2018)
ID34	Indicador	Produtividade energética
	Descrição	É um indicador de eficiência e sustentabilidade da economia, e tem como objetivo medir a produção de PIB por unidade de energia consumida (\$/kWh).
	Fórmula	$PE = \frac{PIB}{CIB}$
	Variáveis	PIB = Produto Interno Bruto (\$) CIB = Consumo interno bruto de energia (kWh)
	Fonte	Hernandez <i>et al.</i> (2018)
ID35	Indicador	Energia-energia dos sistemas
	Descrição	Esse indicador calcula e quantifica toda a energia nos sistemas de fabricação (m ³ , kWh e ton.), e também é incluída na energia-energia do sistema de fabricação, que é principalmente energia elétrica (energia térmica, energia eólica, hidrelétrica, energia geotérmica, bioeletricidade, etc.), carvão, gasolina, diesel, gás natural, luz solar, hidrogênio e assim por diante.
	Fórmula	$Em_{en} = \sum_{j=1}^n Em_{enj}$
	Variáveis	Em_{enj} = Energia-energia do subsistema dos sistemas de manufatura (m ³ , kWh e ton.)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID36	Indicador	Energia-energia do subsistema
	Descrição	Esse indicador quantifica toda a energia-energia nos subsistemas de fabricação (sej/unidade). Portanto, as informações de uso, transmissão, consumo e dissipação de energia dos sistemas.
	Fórmula	$Em_{enj} = \sum_{j=1}^P \overline{En}_p^j \times UEV(\overline{En}_p^j) + \sum_{p=1}^P En_p^j \times UEV(En_p^j)$
	Variáveis	\overline{En}_p^j = Energia renovável p do subsistema j (KJ/s) $UEV(En_p^j)$ = Transformidade emergética do En_p^j (sej/unidade) En_p^j = Energia não renovável do subsistema j E_m (sej/unidade)

		UEV_i = Transformidade energética de diferentes substâncias N = Fluxo de entrada de diferentes unidades (incluindo qualidade, energia, dinheiro, etc.) E_m = Valor da energia solar (\$)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID37	Indicador	Energia material dos sistemas
	Descrição	Esse indicador calcula a energia material nos sistemas de fabricação (%). Os materiais dos sistemas de fabricação são a matéria-prima usada no processo de produção e o excipiente da produção (como óleo de limpeza, água e fluido de corte).
	Fórmula	$Em_{ma} = \sum_{j=1}^n Em_{maj}$
	Variáveis	Em_{maj} = Energia material do subsistema da manufatura sistemas (g/ano e R\$/ano)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID38	Indicador	Energia do material do subsistema
	Descrição	O indicador calcula e quantifica todos os materiais nos subsistemas de fabricação a matéria-prima usada no processo de produção e o excipiente da produção (como óleo de limpeza, água e fluido de corte) (sej/unidade).
	Fórmula	$Em_{maj} = \sum_{q=1}^P \underline{Ma}_q^j \times UEV(\underline{Ma}_q^j) + \sum_{p=1}^P Ma_q^j \times UEV(Ma_q^j)$
	Variáveis	\underline{Ma}_q^j = Material renovável do subsistema (sej/unidade) $UEV(\underline{Ma}_q^j)$ = Transformidade emergética de \underline{Ma}_q^j (sej/unidade) $UEV(Ma_q^j)$ = Transformidade emergética de Ma_q^j (sej/unidade) Ma_q^j = Material não renovável do j-th subsistema (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID39	Indicador	Energia de serviço dos sistemas
	Descrição	Esse indicador calcula e quantifica todos os serviços nos sistemas de fabricação, o que representa o consumo de serviços no sistema (\$). O serviço dos sistemas de manufatura inclui principalmente equipamentos, serviços de terra e mão-de-obra, salários, benefícios sociais, depreciação, aluguel, reparo, despesas de escritório, taxas de proteção trabalhista e assim por diante.
	Fórmula	$Em_{se} = \sum_{j=1}^n Em_{sej}$
	Variáveis	Em_{sej} = Energia de serviço do subsistema da manufatura sistemas (\$)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID40	Indicador	Energia de serviço do subsistema
	Descrição	O indicador calcula e quantifica todos os serviços nos sistemas de fabricação, o que representa o consumo de serviços no subsistema (sej/unidade). Os serviços incluem principalmente equipamentos, serviços de terra e mão-de-obra, salários, benefícios sociais, depreciação, aluguel, reparo, despesas de escritório, taxas de proteção trabalhista e assim por diante.
	Fórmula	$Em_{se} = \sum_{u=1}^U Se_u^j \times UVE(Se_u^j)$
	Variáveis	Em_{se} = Representa a energia de serviço dos sistemas de manufatura (KJ/s) Se_u^j = Serviço do subsistema transformidade em energia de Se_u^j (sej/unidade) $UVE(Se_u^j)$ = Transformidade em energia do serviço no subsistema de (Se_u^j) (sej/unidade) u = Serviço j = Subsistema
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID41	Indicador	Energia residual dos sistemas
	Descrição	É o valor energético quantitativo da poluição ambiental causada pelos resíduos industriais do sistema de fabricação (g/ano e \$/ano). A energia residual calcula e quantifica todo o resíduo nos sistemas de manufatura. Os resíduos industriais são as águas residuais, os gases residuais e os resíduos residuais no processo de produção do sistema de fabricação.
	Fórmula	$Em_{iw} = \sum_{j=1}^n Em_{iwj}$
	Variáveis	Em_{iwj} = Energia residual do subsistema (g/ano e \$/ano)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)

ID42	Indicador	Energia residual do subsistema
	Descrição	Esse calcula todo o resíduo nos sistemas de manufatura, o que caracteriza a situação básica dos resíduos (sej/unidade). Os resíduos industriais são as águas residuais, os gases residuais e os resíduos residuais no processo de produção do sistema de fabricação. A energia residual é o valor energético quantitativo da poluição ambiental causada pelos resíduos industriais do sistema de fabricação.
	Fórmula	$Em_{iwj} = \sum_{w=1}^W Iw_w^j \times UVE(Iw_w^j)$
	Variáveis	Iw_w^j = Desperdício do subsistema (KJ/s) $UVE(Iw_w^j)$ = Transformidade em energia de Iw_w^j (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID43	Indicador	Recursos renováveis do sistema
	Descrição	É quantificado de acordo com a energia, material, serviço e desperdício do sistema de manufatura (%), são usadas frequentemente para responder às políticas governamentais, reduzir os custos de produção e as necessidades de responsabilidade social.
	Fórmula	$Em_{re} = \sum_{j=1}^n Em_{rej}$
	Variáveis	Em_{rej} = Energia de recursos renováveis do subsistema (m^3, kWh e $ton.$)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID44	Indicador	Energia de recurso renovável do subsistema
	Descrição	O indicador é utilizado para responder às políticas governamentais, reduzir os custos de produção e as necessidades de responsabilidade social, as energias renováveis (como energia solar, bioenergia, eólica, geotérmica e água) (sej/unidade).
	Fórmula	$Em_{rej} = \sum_{p=1}^P \underline{Em}_p^j \times UVE(\underline{Em}_p^j) + \sum_{q=1}^Q \underline{Ma}_q^j \times UVE(\underline{Ma}_q^j)$
	Variáveis	\underline{En}_p^j = Energia renovável p do subsistema j $UVE(\underline{Em}_p^j)$ = Transformidade emergética do \underline{En}_p (sej/unidade) \underline{Ma}_q^j = Material renovável q do subsistema j $UVE(\underline{Ma}_q^j)$ = Transformidade emergética de \underline{Ma}_q^j (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID45	Indicador	Energia de recursos não renováveis
	Descrição	O índice reflete a condição básica do sistema de manufatura para a sustentabilidade dos sistemas de produção, está relacionado aos recursos, produtos e riqueza do sistema (sej/unidade).
	Fórmula	$Em_{nr} = \sum_{j=1}^n Em_{nrj}$
	Variáveis	Em_{nrj} = Representa a energia de recursos não renováveis do subsistema (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID46	Indicador	Energia não renovável para recursos
	Descrição	O índice refletir a condição básica do sistema de manufatura é a premissa base do sistema de avaliação para a sustentabilidade do sistema de manufatura, está relacionado aos recursos, produtos e riqueza do sistema de entrada.
	Fórmula	$Em_{nrj} = \sum_{p=1}^P \underline{En}_p^j \times UVE(\underline{En}_p^j) + \sum_{q=1}^Q \underline{Ma}_q^j \times UVE(\underline{Ma}_q^j) + \sum_{w=1}^W Iw_w^j \times UVE(Iw_w^j) \text{ (sej/J)}$
	Variáveis	\underline{En}_p^j = Energia renovável p do subsistema j $UVE(\underline{En}_p^j)$ = Transformidade emergética de \underline{En}_p^j (sej/unidade) \underline{Ma}_q^j = Material não renovável q do subsistema j $UVE(\underline{Ma}_q^j)$ = Transformidade emergética de \underline{Ma}_q^j (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID47	Indicador	Energia total de entrada do sistema
	Descrição	O índice representa a energia total de entrada do sistema industrial, soma da energia, material e serviço) (Sej/unidade).
	Fórmula	$Em_{in} = Em_{en} + Em_{ma} + Em_{se}$

	Variáveis	Em_{en} = Energia energética dos sistemas de manufatura (sej/unidade) Em_{ma} = Energia material dos sistemas de manufatura (sej/unidade) Em_{se} = Emergência de serviço dos sistemas de manufatura (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID48	Indicador	Energia total de saída do sistema industrial
	Descrição	O índice representa a saída de resíduos e produtos do sistema para o mundo exterior (sej/unidade)
	Fórmula	$Em_{out} = Em_{pr} - Em_{se}$
	Variáveis	Em_{pr} = Energia de lucro e renda dos sistemas de manufatura (sej/unidade) Em_{se} = Energia de serviço dos sistemas de manufatura (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID49	Indicador	Energia total dos sistemas
	Descrição	A energia total dos sistemas, com a energia, material, serviço e desperdício do sistema de manufatura, é definida para o sistema obter o sistema ecológico e o sistema social, e os danos causados. A energia total dos sistemas de manufatura inclui a energia de entrada e a energia negativa causada pelos resíduos.
	Fórmula	$Em_{all} = Em_{en} + Em_{ma} + Em_{se} + Em_{iw}$
	Variáveis	Em_{en} = Energia de energia usada em sistemas de manufatura (m ³ , kWh e ton.) Em_{ma} = Energia do material usado em sistemas de manufatura (g/ano e R\$/ano) Em_{se} = Energia de serviço usada em sistemas de fabricação (sej/unidade) Em_{iw} = Energia de resíduos da emissão de sistemas de manufatura (g/ano e \$/ano)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID50	Indicador	Energia total consumida pelo subsistema
	Descrição	A energia total consumida pelo subsistema, inclui a entrada de energia, materiais e serviços e a produção de resíduos, o que causa danos ao meio ambiente (Sej/unidade). A energia total dos sistemas de manufatura é definida para o sistema obter o sistema ecológico e o sistema social, e os danos causados.
	Fórmula	$Em_{all}^j = Em_{en}^j + Em_{ma}^j + Em_{se}^j + Em_{iw}^j$
	Variáveis	Em_{en}^j = Energia de energia usada em sistemas de manufatura subsistem j (sej/unidade) Em_{ma}^j = Energia do material usado em sistemas de manufatura subsistema (sej/unidade) Em_{se}^j = Energia de serviço usada em sistemas de fabricação subsistema (sej/unidade) Em_{iw}^j = Energia de resíduo usada em sistemas de fabricação subsistema (sej/unidade)
	Fonte	LIU <i>et al.</i> (2018)
ID51	Indicador	Eficiência de produção do sistema
	Descrição	É usado para refletir a eficiência dos recursos dos sistemas de manufatura, ou seja, a eficiência da utilização do sistema quanto maior o índice, maior a eficiência da produção dos sistemas de manufatura.
	Fórmula	$EYR = \frac{Em_{out}}{Em_{in}}$
	Variáveis	Em_{out} = Energia de saída do sistema para o mundo exterior (m ³ /ano, kWh/ano, ton./ano) Em_{in} = Entrada energética para o sistema de fabricação (m ³ /ano, kWh/ano, ton./ano)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID52	Indicador	Eficiência energética da produção
	Descrição	Esse indicador é usado para refletir o nível de produção do sistema de fabricação e um indicador da eficiência da aplicação de energia. Quanto maior o índice, maior a eficiência da produção industrial.
	Fórmula	$PEE = \frac{Em_{pr}}{Em_{all}}$
	Variáveis	Em_{pr} = Benefício energético produzido pelo sistema (\$/(m ³ , kWh, ton.)) Em_{all} = Custo total de energia do sistema de fabricação (\$/(m ³ , kWh, ton.))
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID53	Indicador	Relação do amplificador de energia
	Descrição	Esse indicador é usado para refletir o efeito marginal do sistema é a razão entre a energia de saída aumentada (ou reduzida) e a energia total aumentada (ou reduzida) no processo de produção (\$/(m ³ , kWh, ton.)). Quanto maior o índice, maior o potencial de desenvolvimento dos sistemas de fabricação.
	Fórmula	$EAR = \frac{\Delta Em_{pr}}{\Delta Em_{all}}$
	Variáveis	ΔEm_{pr} = Benefício energético produzido pelo sistema (\$/(m ³ , kWh, ton.)) ΔEm_{all} = Custo energia total do sistema de fabricação (\$/(m ³ , kWh, ton.))
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID54	Indicador	Produção média de energia do produto unitário

	Descrição	Esse indicador é usado para calcular o consumo de energia por produto produzido pelo sistema (sej/unidade). Quanto menor o índice, maior o nível de produção dos sistemas de fabricação.
	Fórmula	$UPO = \frac{Em_{out}}{N_p}$
	Variáveis	Em_{out} = Energia de saída do sistema para o mundo exterior (sej/unidade) N_p = Número de produtos produzidos pelo sistema de fabricação
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID55	Indicador	Relação de carga ambiental
	Descrição	Esse indicador considera o impacto ambiental dos poluentes que são descartados pelo sistema de fabricação, é usada no sistema, enquanto o sistema de fabricação possui uma grande pressão ambiental. Geralmente, esse índice é grande, indicando que a existência de energia de alta resistência.
	Fórmula	$ELR = \frac{(Em_{nr} + Em_{iw})}{Em_{re}}$
	Variáveis	Em_{nr} = Os recursos, produtos e riqueza do sistema de entrada (m ³ , kWh, ton.) Em_{iw} = Desperdício de energia dos sistemas de manufatura (m ³ , kWh, ton.) Em_{re} = Base de recursos do sistema (água, luz água, luz)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID56	Indicador	Índice de descarte de energia
	Descrição	O índice é usado para refletir a compatibilidade ambiental do sistema de fabricação, o nível de utilização dos recursos do sistema e o nível de reciclagem (%). Quanto menor o índice, maior o grau de reciclagem dos recursos da empresa.
	Fórmula	$EDR = \frac{Em_{iw}}{Em_{in}}$
	Variáveis	Em_{iw} = é o desperdício de energia dos sistemas de manufatura (m ³ , kWh, ton.) Em_{in} = a entrada energética para o sistema de fabricação (m ³ /ano, kWh/ano, ton./ano)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID57	Indicador	Relação da produção de energia residual
	Descrição	Este índice é usado para medir o nível de produção mais limpa, o grau de simbiose industrial, a poluição e a pressão de autopurificação da saída da unidade para o ambiente ecológico (%). Quanto menor o índice, melhor a produção mais limpa e a simbiose industrial do sistema de fabricação.
	Fórmula	$EWR = \frac{Em_{iw}}{Em_{pr}}$
	Variáveis	Em_{iw} = Desperdício de energia dos sistemas de manufatura (m ³ , kWh, ton.) Em_{pr} = Energia de lucro e renda dos sistemas de manufatura (\$/(m ³ , kWh, ton.))
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID58	Indicador	Índice de sustentabilidade baseada na energia
	Descrição	Este índice de eficiência de produção dos sistemas de manufatura da carga ambiental unitária (%), é amplamente utilizado para refletir o desenvolvimento sustentável abrangente do sistema de manufatura de recursos de produção, poluição ambiental e benefícios econômicos. Representa o status e o nível de desenvolvimento, e quanto maior o índice, mais sustentáveis os sistemas de manufatura.
	Fórmula	$ISE = \frac{EYR}{ELR} = \frac{Em_{out} \times Em_{re}}{(Em_{nr} \times Em_{iw}) \times Em_{in}}$
	Variáveis	EYR = Eficiência de produção do sistema (%) ELR = Relação de carga ambiental (%) Em_{out} = Energia de saída do sistema para o mundo exterior (J) Em_{re} = Base de recursos do sistema (água, luz solar, ar, etc.) Em_{nr} = Os recursos, produtos e riqueza do sistema de entrada (J e Kg) Em_{iw} = Desperdício de energia dos sistemas de manufatura (J) Em_{in} = Entrada energética para o sistema de fabricação (J)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID59	Indicador	Índice de eficiência energética
	Descrição	Um índice de eficiência energética, que pode ser usado para monitorar o desempenho energético (kWh/m ³), também ser utilizado para comparações internas ou externas energético de pequenas e médias empresas industriais para cada processo.
	Fórmula	$IEE_{ij} = \frac{KPI_{ij}}{KPI_{ref,i}}$
	Variáveis	KPI_{ij} = Desempenho para o processo no local (kWh/m ³) $KPI_{REF,I}$ = Valor de referência do indicador-chave de desempenho para o processo (kWh/m ³)

	Fonte	Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018)
ID60	Indicador	Índice de eficiência energética total
	Descrição	O índice de eficiência energética para processo inteiro (kWh/m ³), pode ser usado para monitorar o desempenho energético, também ser utilizado para comparações internas ou externas energéticas de pequenas e médias empresas industriais para o processo.
	Fórmula	$IEE_{total,j} = \sum_{i=1}^n PS_{i,j} \times EEI_{i,j}$
	Variáveis	$PS_{i,j}$ = Porcentagem média de uso final de energia do processo no local (%) $EEI_{i,j}$ = Desempenho para o processo (kWh/m ³) $j = Local$ $i = Processo$
	Fonte	Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018)
ID61	Indicador	Índice ponderado de consumo unitário
	Descrição	Esse indicador é utilizado para calcular a variação do índice ponderado de consumo unitário entre um ano e outro ano (%). É comumente utilizado para avaliar tendências passadas de eficiência energética, mas quando combinados com balanços energéticos nacionais de longo prazo, pode ser aprimorada para avaliar tendências futuras de eficiência energética, observados em um determinado período.
	Fórmula	$\frac{I_t}{I_{t+1}} = \sum_i EC_{i,t+1} \times \left(\frac{UC_{i,t+1}}{UC_{i,t}} \right)$
	Variáveis	I = Índice de consumo unitário EC_i = Participação do subsetor i no consumo total (parcela de I) UC_i = Índice de consumo unitário do subsetor i (GJ/t, l/100 km) t = ano
	Fonte	Pusnik <i>et al.</i> (2017)
ID62	Indicador	Custo de energia
	Descrição	O indicador de custo da energia significa o custo monetário do uso de energia (\$/kWh).
	Fórmula	$C_e = t \times E_C$
	Variáveis	t = Tarifa (\$) E_C = Energia consumida (kWh)
	Fonte	Peng, L. <i>et al.</i> (2015)
ID63	Indicador	Custo específico de energia
	Descrição	O indicador representa custo de energia por item fabricado (\$/unidade).
	Fórmula	$CEE = \frac{CE}{IP}$
	Variáveis	CE = Consumo de energia (\$) IP = Item produzido (<i>unidade</i>)
	Fonte	Wang, W. <i>et al.</i> (2017)
ID64	Indicador	Perda de energia
	Descrição	O indicador de perda de energia significa o uso de energia associada a etapas de processo de não-adição de valor ou estados operacionais (kWh).
	Fórmula	$E_p = E_e - E_U$
	Variáveis	E_e = Energia de entrada (kWh) E_U = Energia utilizada (kWh)
	Fonte	Wang, W. <i>et al.</i> (2017)
ID65	Indicador	Avaliação do desempenho operacional dos refrigeradores ativos
	Descrição	Esse indicador é utilizado para a avaliação do desempenho operacional dos refrigeradores ativos (kW).
	Fórmula	$I_{select} = \frac{\eta_{active}(L)}{\eta_{over all}(L)}$
	Variáveis	$\eta_{active}(L)$ = representa a eficiência (COP) dos refrigeradores (kW) $\eta_{over all}(L)$ = representa a eficiência (COP) dos refrigeradores globais (kW) L = é a carga total de refrigeração atual (kW)
	Fonte	Wang, Y. <i>et al.</i> (2017)
ID66	Indicador	Distribuição de carga entre os refrigeradores ativos
	Descrição	Esse indicador identifica o potencial para melhorar o desempenho dos refrigeradores ativos através da localização real da carga de refrigeração entre eles (kW). É definido para avaliar a alocação de carga entre os refrigeradores ativos.

	Fórmula	$I_{load} = \frac{\eta(L)}{\eta_{active}(L)}$
	Variáveis	$\eta_{active}(L)$ = Representa a eficiência o coeficiente de desempenho dos refrigeradores (COP) (kW) $\eta(L)$ = representa a eficiência atual o coeficiente de desempenho dos refrigeradores L (COP) (kW)
	Fonte	Wang, Y. <i>et al.</i> (2017)
ID67	Indicador	Desempenho operacional dos refrigeradores em geral
	Descrição	É um índice abrangente levando em consideração tanto a seleção de refrigeradores ativos quanto a alocação de carga entre eles (kW). Ele pode indicar o potencial total para melhorar o desempenho dos resfriadores.
	Fórmula	$I = I_{select} \times I_{load} = \frac{\eta(L)}{\eta_{over all}(L)}$
	Variáveis	I_{select} = Indica que a seleção atual dos refrigeradores ativos é a melhor (kW) I_{load} = Avaliar a alocação de carga entre os refrigeradores ativos $\eta_{over all}(L)$ = Representa a eficiência dos refrigeradores (COP) globais (kW) L = Carga total de refrigeração atual (w) $\eta(L)$ = Eficiência do refrigerador
	Fonte	Wang, Y. <i>et al.</i> (2017)
ID68	Indicador	Potencial de economia de energia
	Descrição	O indicador de potencial de poupança de energia, pode obter o menor consumo total de energia com o potencial total de poupança de energia e o consumo total de energia. É útil para o proprietário do sistema de resfriamento múltiplo tomar a decisão de ajustar ou não a estratégia de operação (%).
	Fórmula	$Power_{save} = Power - Power * = Power \left(1 - \frac{Load/Power}{Load/Power} \right) = Power \left(1 - \frac{COP}{COP *} \right) = Power(1 - I)$
	Variáveis	COP = Representa a eficiência dos refrigeradores (kW) $Power = I$ o índice de desempenho operacional dos refrigeradores em geral * representa a variável calculada de acordo com a linha de melhor desempenho dos refrigeradores em geral.
	Fonte	Wang, Y. <i>et al.</i> (2017)
ID69	Indicador	Índice de Eficiência Energética de fator total
	Descrição	A medição regional de energia é usada para avaliar o nível de consumo de energia para a produção econômica PIB (produto interno bruto) com base na entrada de múltiplos fatores. É dada pelo índice eficiência energética do fator total (kWh) de r-th DMU no tempo v. A entrada de energia alvo será igual à entrada de energia real para uma unidade eficiente, portanto, o índice tem uma pontuação entre zero e unidade; e a maior pontuação no TFEE indica o maior desempenho energético de uma unidade de tomada de decisão (DMU).
	Fórmula	$TFEE(r, v) = \frac{E_{alvo}(r, v)}{E_{real}(r, v)} = \frac{E_{real}(r, v) - A_{Total}(r, v)}{E_{atual}(r, v)}$
	Variáveis	E_{alvo} = Entrada de energia de destino (kWh) E_{atual} = Entrada de energia real (kWh) A_{total} = Ajuste total da entrada de energia (U)
	Fonte	Özkara e Atak (2015)
ID70	Indicador	Índice de Custo
	Descrição	É utilizado para o monitoramento eficiência de energia e recursos no processo, e permite identificar qual processo é responsável pelo maior custo relacionado ao consumo de recursos (eletricidade, água, ar comprimido, kWh/pc, m ³ /pce).
	Fórmula	$IC = \sum_i C_i * (R_{VA_i} + R_{NVA_i} + R_{W_i})$
	Variáveis	C_i = Custo unitário do recurso i R_{VA_i} = Recurso consumido na atividade de valor agregado R_{NVA_i} = Recurso consumido na atividade sem valor agregado R_{W_i} = Recurso consumido na atividade de resíduos i = Recurso
	Fonte	Papetti <i>et al.</i> (2019)
ID71	Indicador	Índice Muda
	Descrição	O Índice Muda permite quantificar o custo do recurso não relacionado às atividades de valor agregado (eletricidade, água, ar comprimido, kWh/pc, m ³ /pc). A ideia básica desse índice é fornecer uma representação clara dos aspectos críticos dos fluxos, além de uma representação clara dos fluxos de recursos. Quanto mais o valor do MI for maior, mais ações corretivas serão necessárias para a operação / processo considerado.

	Fórmula	$MI = \sum_i C_i * (R_{NVA_i} + 2R_{W_i}) = C_i * (r_{w_{ij}} * t_{w_{ij}} + 2(r_{NVA_{ij}} * t_{NVA_{ij}}))$
	Variáveis	C_i =Custo unitário do recurso i R_{NVA_i} =Recurso consumido na atividade de resíduos R_{W_i} =Recurso consumido na atividade de resíduos
		$r_{w_{ij}}$ = Consumo por hora por parte do recurso i pela atividade j (W) $t_{w_{ij}}$ = Duração da atividade j consumido o recurso i (W) $r_{NVA_{ij}}$ =Consumo por hora por peça de recurso i pelo NVA atividade j $t_{NVA_{ij}}$ = "Duração da atividade NVA j consumido o recurso i " i = Recurso
	Fonte	Papetti <i>et al.</i> (2019)
ID72	Indicador	Eletricidade usada na produção
	Descrição	O indicador mede o consumo de energia, a tensão na linha de alimentação e as ampères-hora acumuladas nas baterias (Wh). A formação da bateria usa corrente contínua e sua voltagem depende do número de baterias em um lote.
	Fórmula	$E_p = NV_{pc}C$
	Variáveis	N = Número de baterias em lote V_{pc} = Tensão na linha de alimentação (V) C = Capacidade de carga da bateria (Ah)
	Fonte	Morejón <i>et al.</i> (2019)
ID73	Indicador	Eletricidade consumida na formação de lotes
	Descrição	Esse indicador calcula a eletricidade consumida no processo de formação de cada lote de bateria (Wh).
	Fórmula	$E_T = \int_0^{f_i} p(t)dt = \int_0^{f_i} V_{DC}(t) \times I_{DC}(t)dt$
	Variáveis	$p(t)$ = Potência (W) V_{DC} = Tensão na linha de alimentação (V) I_{DC} = Corrente na linha de suprimento (A) t = Tempo
	Fonte	Morejón <i>et al.</i> (2019)
ID74	Indicador	Energia consumida no intervalo
	Descrição	Esse indicador indica a eletricidade consumida durante o intervalo de formação da bateria (wh).
	Fórmula	$E_T = \sum_{i=1}^n V_{DCi} \times I_{DC} \times \frac{T}{n}$
	Variáveis	V_{DCi} = Tensão registrada no intervalo i_{th} (V) I_{DCi} = Corrente registrada no intervalo (A) T = Tempo total de formação da(s) bateria(s) (h) n = Número de valores registrados
	Fonte	Morejón <i>et al.</i> (2019)
ID75	Indicador	Coefficiente de desempenho para aquecimento da bomba de calor.
	Descrição	Esse indicador é o coeficiente de desempenho para aquecimento, onde a taxa de calor útil total é dividida pela entrada de trabalho (kW).
	Fórmula	$COP_h = \frac{Q_h}{W}$
	Variáveis	Q_h = Taxa de calor útil (kW) W = Entrada de trabalho (kW)
	Fonte	Bühler <i>et al.</i> (2019)
ID76	Indicador	Comparação do desempenho da bomba de calor real
	Descrição	O indicador pode ser usado para comparar o desempenho da bomba de calor real com o Coeficiente de desempenho (COP) teoricamente possível (kW/°C). O COP de Lorenz foi encontrado dividindo-se a temperatura média logarítmica no lado quente da bomba de calor, pela diferença entre as temperaturas médias logarítmicas do lado quente e do lado frio.
	Fórmula	$\eta_{Lor} = \frac{COP_h}{COP_{Lor}}$
	Variáveis	COP_h = Coeficiente de desempenho para aquecimento (kW) COP_{Lor} = Coeficiente de desempenho Lorenz (°C)
	Fonte	Bühler <i>et al.</i> (2019)
ID77	Indicador	Consumo de energia por máquina
	Descrição	Esse indicador mede o consumo de energia de cada estado da máquina (consumo de energia por unidade

		de tempo) (kWh), é calculado para entender o comportamento de consumo da máquina para definir como colocar as máquinas em linhas, e assim avaliar o consumo de energia por produção.
	Fórmula	$E = \sum_{k=1}^n E^k = \sum_{k=1}^n (e_r^k T_r^k + e_s^k T_s^k + e_i^k T_i^k)$
	Variáveis	E^k = Consumo de energia por máquina (kW) e_r^k = Consumo de energia por tempo durante a execução pela máquina (kWh) T_r^k = Tempo de execução e_s^k = Consumo de energia por tempo durante a instalação pela máquina (kWh) T_s^k = Tempo total de instalação da máquina (t) e_i^k = Consumo de energia por tempo durante ocioso pela máquina (kWh) T_i^k = Tempo total de funcionamento da máquina (t) n = Número de máquinas em uma linha
	Fonte	Hibino; Horikawa; Yamaguchi (2019)
ID78	Indicador	Consumo de energia de produção da máquina
	Descrição	O indicador de consumo de energia por unidade de produção da máquina em tamanho de lote variável (kWh).
	Fórmula	$U^k = q^k \left(\frac{e_r^k}{p_r^k} + \frac{e_s^k \lambda^k}{LS} \right) + e_i^k \left(\frac{1}{p} - q^k \left(\frac{1}{p_r^k} + \frac{\lambda^k}{LS} \right) \right)$
	Variáveis	q^k = Coeficiente de trabalho em processo e_r^k = Consumo de energia por tempo durante a execução pela máquina (kWh) e_s^k = Consumo de energia por tempo durante a instalação pela máquina (kWh) p_r^k = Produção por unidade de tempo da máquina λ^k = Tempo necessário para uma configuração (t) LS = Tamanho do lote p = Rendimento da linha k = Máquina
	Fonte	Hibino; Horikawa; Yamaguchi (2019)
ID79	Indicador	Custo de energia por produto produzido
	Descrição	O indicador calcula o custo de energia por quantidade de produto produzido (\$/ton.).
	Fórmula	$CE = \frac{CEt}{P}$
	Variáveis	CEt = Custo total de energia (\$) P = Tonelada de cimento produzidos (t)
	Fonte	Pelser; Vosloo; Mathews (2018)
ID80	Indicador	Intensidade de custo de energia seccional específica
	Descrição	O indicador indica a eficiência de custo da seção em comparação com sua saída de produção específica, serve como uma indicação do custo de consumo de uma unidade de energia (\$/kWh).
	Fórmula	$ICE_e = \frac{CTES_e}{CES_e}$
	Variáveis	$CTES_e$ = Custo total de energia para seção (\$) CES_e = Consumo de energia seccional específico (kWh)
	Fonte	Pelser; Vosloo; Mathews (2018)
ID81	Indicador	Redução do consumo de energia
	Descrição	Esse indicador compara o consumo de energia e o consumo de energia entre produtos e fábricas (\$/ano). O valor do produto reflete o custo de produção, que implica no tamanho da fábrica em que os produtos são produzidos, bem como no uso de energia.
	Fórmula	$EnR = BEn - PEn$
	Variáveis	BEn = Consumo de energia de linha de base (\$/ano) PEn = Consumo de energia do projeto (\$/ano)
	Fonte	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)
ID82	Indicador	Redução na intensidade de carbono
	Descrição	Esse indicador indica a redução média na intensidade de carbono do produto P (tCO ₂ /\$), a quantidade de consumo de energia e redução de emissões de GEE (Gases de efeito estufa) por \$ do valor do produto da fábrica em que a medida foi aplicada.
	Fórmula	$ERI_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ER_{i,j}}{\sum_{i=1}^M (price_p \times C_{i,p})}$

	Variáveis	$ER_{i,j}$ = Redução de emissão de GEE (tCO _{2e} / ano) $price_p$ = Preço de mercado do produto (\$/ton.)
		p = Produção anual do produto (tonelada) n = Número de medidas de conservação de energia (MCE) medidas de conservação de energia m = Número de fábricas que produzem o produto P j = Número de índice de medidas de conservação de energia (MCE) na categoria M P = Produtos i = Fábrica M = Categoria de medidas de conservação de energia (MCE)
	Fonte	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)
ID83	Indicador	Redução na intensidade energética
	Descrição	Esse indicador indica a redução média na intensidade energética do produto P devido para MCE (medidas de conservação de energia) na categoria M. O valor do produto reflete o custo de produção, que implica no tamanho da fábrica em que os produtos são produzidos, bem como no uso de energia.
	Fórmula	$EnRI_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n EnRI_{i,j}}{\sum_{j=1}^n (price_p \times C_{i,p})}$
	Variáveis	$EnRI_{i,j}$ = Redução do consumo de energia na fábrica i devido ao MCE j sob a categoria M (tCO _{2e} / ano) $price_p$ = Preço de mercado do produto P (\$ / ton.) $C_{i,p}$ = Produção anual do produto P na fábrica i (ton./ ano) n = Número de MCE na categoria m na fábrica i m = Número de fábricas que produzem o produto P i = Número índice de fábricas que produzem o produto P j = Número de índice de medidas de conservação de energia (MCE) na categoria M p = Produtos m = Categoria de medidas de conservação de energia (MCE)
	Fonte	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)
ID84	Indicador	Custo de investimento anual equivalente
	Descrição	O indicador é referente ao custo de investimento anual equivalente (TJ/\$). Esse índice reflete a eficácia do custo em termos de quantidade de energia e GEE que podem ser reduzidos por um dólar de investimento.
	Fórmula	$EnROI = \frac{EnR}{EAC} = \frac{BEn - PEn}{Inv \frac{r(1+r)^{n-1}}{(1+r)^n - 1} + OM}$
	Variáveis	EnR = Redução do consumo de energia (TJ / ano) EAC = Custo de investimento anual (\$ / ano) BEn = Redução de emissão de GEE da linha de base (TJ / ano) PEn = Emissão de GEE do projeto (tCO _{2e} / ano) Inv = Custo de investimento da medida (\$) r = Taxa de desconto (%) n = Tempo de vida da medida (anos) OM = Custo de operação e manutenção da medida (\$ / ano)
	Fonte	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)
ID85	Indicador	Custo de redução de gases de efeito estufa
	Descrição	O indicador é calculado para avaliar a viabilidade econômica da medida (\$ / tCO ₂). Além disso, em um mercado com mecanismo de comércio de carbono, o benefício de um crédito de carbono também será levado em consideração.
	Fórmula	$CR = \frac{EAC - EnR \times Price_{En}}{ER}$
	Variáveis	EAC = Custo de investimento anual equivalente de um MCE (\$/ano) EnR = Redução do consumo de energia (TJ / ano) $Price_{En}$ = Preço da energia (\$ / TJ) ER = Redução de emissão de gases de efeito estufa (tCO _{2e} / ano)
	Fonte	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)
ID86	Indicador	Eficiência exergética
	Descrição	A eficiência da exergia é definida como a razão entre a razão entre a exergia total de saída e a exergia total de entrada (J).
	Fórmula	$EXE = \frac{W_e + EX_h + EX_{co}}{W_c}$
	Variáveis	W_c = Representa o trabalho de compressão (J) EX_h = Energia de aquecimento (J) EX_{co} = Energia de resfriamento (J) W_e = Trabalho do expensor (J)

	Fonte	Han e Guo (2018)
ID87	Indicador	Consumo abrangente de energia
	Descrição	O indicador se refere à demanda total de energia para usar a parte virtual, que é um parâmetro-chave para prever o consumo específico de energia de um sistema de usinagem na fase de uso (kj).
	Fórmula	$CEC = E_{sb} + E_{st} + E_u + E_c + E_a$
	Variáveis	E_{sb} = Energia total em espera (kj) E_{st} = Energia inicial total (kj) E_u = Energia total ociosa (kj) E_c = Energia total de corte (kj) E_a = Perda de carga adicional (kj)
	Fonte	Tuo <i>et al.</i> (2018)
ID88	Indicador	Utilização abrangente de energia
	Descrição	O indicador reflete a utilização média de energia do sistema de usinagem, é útil para estabelecer padrões para avaliar a eficiência energética de sistemas de usinagem durante a fase de uso (%). Os resultados de medição relacionados também fornecem informações de energia para tomadores de decisão explorarem sistemas ou processos de usinagem com eficiência energética.
	Fórmula	$CEU = \frac{E_c}{CEC}$
	Variáveis	E_c = Energia de corte (J/mm ³) CEC = Consumo de energia total (kj)
	Fonte	Tuo <i>et al.</i> (2018)
ID89	Indicador	Uso relativo de eletricidade ociosa
	Descrição	O indicador indica o uso relativo de eletricidade ociosa em cada local de produção (%).
	Fórmula	$REU = \frac{IEU}{PEU} \times 100$
	Variáveis	IEU = Uso ocioso de eletricidade (kWh) PEU = Uso de eletricidade de produção (kWh)
	Fonte	Mahapatra <i>et al.</i> (2018)
ID90	Indicador	Consumo de eletricidade
	Descrição	O indicador é utilizado para analisar o processo de maior consumo de eletricidade, que é o rendimento do produto desse processo unitário (KJ/ton.).
	Fórmula	$E = \sum_{i=1}^n e_i p_i$
	Variáveis	e_i = Intensidade elétrica do processo unitário por tonelada de produto (KJ/ton.) p_i = Proporção do produto do processo unitário (KJ)
	Fonte	Zhang <i>et al.</i> (2018)
ID91	Indicador	Consumo de energia elétrica
	Descrição	O indicador de consumo de energia elétrica que é a taxa de uso de energia elétrica (kWh). O uso de energia elétrica é igual ao produto do consumo de energia ou carga (P) e o período de tempo ou duração (T), desde que a carga seja constante.
	Fórmula	$E = PW \times Th = P \times T$
	Variáveis	P = Produto do consumo de energia ou carga (kW) t = Período de tempo ou duração (hora, um dia, um mês etc.)
	Fonte	Wilson <i>et al.</i> (2016)
ID92	Indicador	Uso de energia de máquina individual
	Descrição	O indicador calcula o uso de energia total de uma máquina individual, é a soma de todas as energias individuais da máquina (kWh)
	Fórmula	$E_m = \sum_{r=1}^n \left(P_r \times \left(\frac{SUP_r}{100} \right) \times T \right)$
	Variáveis	P_r = Consumo médio de energia para um estado específico (kWh) SUP_r = Porcentagem de utilização de estado individual (%) t_{sum} = Soma do período de tempo do estado individual (t) T = Período de tempo total de simulação (t) n = Número total de estados para a máquina específica t_r = Período de tempo do estado individual (t)
	Fonte	Wilson <i>et al.</i> (2016)
ID93	Indicador	Consumo de energia sem valor agregado
	Descrição	O indicador de consumo de energia sem valor agregado por período (kWh), é o consumo de energia padrão em condições regulares, é a energia relacionada às atividades ou etapas do processo que não

		agrega valor ao produto ou material. É calculado com base nos parâmetros relacionados à energia dos processos.
	Fórmula	$e_{nVA} = e_T - e_{VA}$
	Variáveis	e_T = Consumo total de energia do fluxo de valor por período (kWh) e_{VA} = Energia de valor agregado total por produto (kWh/ton.)
	Fonte	Baysan <i>et al.</i> (2019)
ID94	Indicador	Energia consumida na produção excedente
	Descrição	É utilizado para quantificar a quantidade de energia consumida na produção excedente, é a somada para todos os processos, o que é maior que a demanda, é considerada superprodução desperdício (kWh/ton.).
	Fórmula	$DE = \sum_{i=1}^n (TH_i - D)e_i$
	Variáveis	TH_i = Taxa de transferência do processo i, $TH_i > D$ (kWh) D = Demanda de produtos a serem produzidos (ton.) e_i = Consumo de energia da unidade de um processo i (kW)
	Fonte	Baysan <i>et al.</i> (2019)
ID95	Indicador	Consumo de energia no transporte e manuseio
	Descrição	O indicador é o cálculo da energia necessária para o transporte de item ou informação que é realizado no processo que não tem um valor agregado ao produto ou material, que demanda de iluminação, aquecimento e resfriamento e o consumo de energia (kWh/m ²).
	Fórmula	$TMR = \sum_{(ij) \in CM} \frac{TH_i}{Q_i} = d_{ij}e_{ijv}$
	Variáveis	TH_i = Taxa de transferência do processo i Q_i = Tamanho do lote do processo i (m) d_{ij} = Distância do processo i ao processo j (kWh) e_{ijv} = Consumo de energia da unidade do processo (kWh/m ²)
	Fonte	Baysan <i>et al.</i> (2019)
ID96	Indicador	Consumo de energia de estoque
	Descrição	O indicador se refere ao consumo de energia devido ao desperdício de trabalhos e desperdício de estoque pela quantidade excedente de produção (W/m), no qual não gera valor agregado ao produto ou material.
	Fórmula	$EDE = \sum_{i=1}^n (TH_i - D)a_i(h_i + l_i)$
	Variáveis	TH_i = Taxa de transferência do processo D = Demanda de produtos a serem produzidos por ano a_i = Área ocupada de trabalho em processo para a saída do processo i (m) h_i = Requisito de energia de aquecimento da unidade por i (W/m) l_i = Requisito de energia de iluminação da unidade por metro i (W/m)
	Fonte	Baysan <i>et al.</i> (2019)
ID97	Indicador	Consumo de energia do retrabalho
	Descrição	O indicador é calculado com base no número de peças defeituosas produzidas por cada processo i multiplicado pelo consumo de energia de cada processo i (kWh). Essa multiplicação é somada a todos os processos, para calcular o consumo de energia devido ao desperdício de retrabalho.
	Fórmula	$RR = \left(\frac{D}{\prod_{i=1}^n (1 - ftt_i)} - D \right) e_{VA}$
	Variáveis	D = Demanda de produtos a serem produzidos (Kg/h) ftt_i = Taxa de sucata para o processo i (Kg/h) e_{VA} = Consumo de energia sem valor agregado (NVA) por período (kWh)
	Fonte	Baysan <i>et al.</i> (2019)
ID98	Indicador	Consumo de energia na produção
	Descrição	O indicador é a soma da combustão direta de combustível (principalmente carvão) e o consumo elétrico.
	Fórmula	$E_n = E_f + E_{el}$
	Variáveis	E_f = Combustão direta de combustível (principalmente carvão) E_{el} = Consumo elétrico (kW)
	Fonte	Liu <i>et al.</i> (2018)
ID99	Indicador	Consumo de energia
	Descrição	O indicador de consumo de energia do sistema de acionamento de alimentação é considerado um indicador de otimização (J/h). Os componentes móveis desempenham um papel importante nas máquinas-ferramentas. Seu consumo de energia, características estáticas e dinâmicas afetam diretamente

	a eficiência energética, a capacidade de processamento e a qualidade de processamento de todas as máquinas-ferramentas.
Fórmula	$E(t) = \int_0^t P_{out} dt = P \times \Delta t$
Variáveis	P_{out} = Potência de saída (J) t = Tempo de trabalho do sistema de acionamento de alimentação (h)
Fonte	Ji <i>et al.</i> (2019)

4.2.2 Categorização dos indicadores de eficiência energética

Os indicadores de eficiência energética selecionados foram agrupados em sete categorias e dez subcategorias. Estes são ainda foram classificados em três dimensões: estratégico, tático e operacional. A categorização dos indicadores de eficiência energética encontra-se representada no Quadro 3.

Quadro 3 – Categorização dos Indicadores de eficiência energética

ID	Indicador	Classificação	Categoria	Subcategoria
1	Eficiência energética direta	TA	SI	DE
2	Mudança na eficiência energética direta	TA	SI	DE
3	Eficiência energética indireta	TA	SU	DE
4	Eficiência energética relativa	TA	SI	DE
5	Consumo de energia no setor	ET	ST	DE
6	Desempenho energético da unidade evaporadora	TA	SU	DE
7	Energia da unidade de cristalização	TA	SU	DE
8	Consumo de energia comparável	TA	SU	PS
9	Eficiência energética no nível componente	OP	CO	RS
10	Consumo total de energia do componente	OP	CO	RS
11	Eficiência Energética do sistema	TA	SU	RS
12	Energia total consumida no componente	OP	CO	ES
13	Eficiência Energética do componente	TA	SI	RS
14	Custo de energia	TA	SI	EC
15	Consumo específico de energia	TA	SI	RS
16	Consumo de descarga de poluentes do sistema	TA	SI	IA
17	Fator de impacto ambiental	TA	SU	IA
18	Eficiência de utilização de recursos	TA	SI	RC
19	Eficiência de utilização de recursos	TA	SU	RC
20	Consumo cumulativo de exergia	TA	SU	PS
21	Consumo cumulativo de exergia	TA	SU	RC
22	Impacto ambiental das emissões de resíduos	TA	SU	IA
23	Medida do impacto ambiental das emissões de resíduos	TA	SU	IA
24	Consumo total de energia do processo	TA	SU	PS
25	Consumo de energia eventos de inatividade	OP	MA	OE
26	Consumo de energia por unidade	OP	MA	DE
27	Consumo de energia por unidade sem eventos de interrupção	OP	MA	OE
28	Desempenho do consumo de energia	TA	SU	DE
29	Energia consumida durante a marcha lenta	OP	MA	OE
30	Consumo líquido de energia	OP	MA	DE
31	Energia total consumida pela linha de produção	TA	SU	PS
32	Intensidade energética	ET	RE	DE
33	Intensidade energética de física	ET	ST	RS
34	Produtividade energética	ET	ST	DE
35	Energia e emergia dos sistemas	TA	SI	RC
36	Emergia-emergia do subsistema	TA	SU	RC
37	Emergia material dos sistemas	TA	SI	RC
38	Emergia do material do subsistema	TA	SU	RC

39	Energia de serviço dos sistemas	TA	SI	RC
40	Energia de serviço do subsistema	TA	SU	RC
41	Energia residual dos sistemas	TA	SI	PE
42	Energia residual do subsistema	TA	SU	PE
43	Recursos renováveis do sistema	TA	SI	IA
44	Energia de recurso renovável do subsistema	TA	SU	IA
45	Energia de recursos não renováveis do sistema	TA	SI	RC
46	Energia de recursos não renovável	TA	SU	RC
47	Energia de entrada do sistema	TA	SU	ES
48	Energia de saída do sistema	TA	SU	AS
49	Energia total dos sistemas	TA	SI	RS
50	Energia total consumida pelo subsistema	TA	SU	RS
51	Eficiência de produção do sistema	TA	SI	RS
52	Eficiência energética da produção	TA	SI	RS
53	Relação do amplificador de energia	TA	SI	RS
54	Produção média de energia do produto unitário	TA	SI	DE
55	Relação de carga ambiental	TA	SI	IA
56	Índice de descarte de energia	TA	SI	IA
57	Relação da produção de energia residual	TA	SI	IA
58	Índice de sustentabilidade baseada na energia	ET	ST	IA
59	Índice de eficiência energética	ET	ST	DE
60	Índice de eficiência energética total	ET	ST	RS
61	Índice ponderado de consumo unitário	ET	ST	DE
62	Custo de energia	TA	SU	EC
63	Custo específico de energia	TA	SI	EC
64	Perda de energia	TA	SU	PE
65	Avaliação do desempenho operacional dos refrigeradores ativos	OP	EP	DE
66	Distribuição de carga entre os refrigeradores ativos	OP	EP	DE
67	Desempenho operacional dos refrigeradores em geral	OP	EP	DE
68	Potencial de poupança de energia	OP	EP	DE
69	Índice de Eficiência Energética de fator total	ET	RE	DE
70	Índice de Custo	TA	SU	EC
71	Índice Muda	TA	SU	RC
72	Eletricidade usada na produção	TA	SU	PS
73	Eletricidade consumida na formação de lotes	TA	SU	PS
74	Energia consumida no intervalo	TA	SU	PS
75	Coefficiente de desempenho para aquecimento	OP	EP	DE
76	Comparação do desempenho	OP	EP	DE
77	Consumo de energia por máquina	OP	MA	DE
78	Consumo de energia de produção da máquina	OP	MA	PS
79	Custo de energia por produto produzido	TA	SI	EC
80	Intensidade de custo de energia	TA	SI	EC
81	Redução do consumo de energia	ET	ST	IA
82	Redução na intensidade de carbono	ET	ST	IA
83	Redução na intensidade energética	ET	ST	DE
84	Custo de investimento anual equivalente	ET	ST	EC
85	Custo de redução de emissões de gases de efeito estufa	ET	ST	IA
86	Eficiência exergética da produção	TA	SI	RS
87	Consumo abrangente de energia	TA	SI	PS
88	Utilização abrangente de energia	TA	SI	PS
89	Uso relativo de eletricidade ociosa	TA	SU	PE
90	Consumo de eletricidade	TA	SU	PS
91	Consumo de energia elétrica	OP	MA	RS
92	Uso de energia de máquina individual	OP	MA	DE
93	Consumo de energia sem valor agregado	TA	SU	PE
94	Energia consumida na produção excedente	TA	SU	PE
95	Energia consumida no transporte e manuseio	TA	SU	PE
96	Consumo de energia de estoque	TA	SU	PE
97	Energia consumida do retrabalho	TA	SU	PE
98	Consumo de energia na produção	TA	SU	PS
99	Consumo de energia no acionamento	OP	CO	OE

Classificação: ET- Estratégico, TA – Tático e OP – Operacional;

Categorias: ST – Setorial, RE – Regional, SI – Sistema, SU – Subsistema, MA – Máquina, EP – Equipamento e CO - Componente;

Subcategorias: DE – Desempenho; EC – Econômico, EN – Entrada, IA – Impacto ambiental, PE – Perda, PS – Processo, RC – Recurso; RS – Resultado; OE - Operação e AS – Saída.

No quadro 4, é demonstrada a sumarização da quantidade de indicadores em cada categoria. Há quatorze indicadores pertencentes ao nível estratégico, dividido em duas categorias: setorial e regional, o nível tático possui setenta e dois indicadores, as categorias sistema e subsistema e os indicadores pertencentes nível operacional totalizam dezenove indicadores, nas categorias máquina, equipamento e componente. E também é apresentado no quadro, a distribuição dos indicadores nas respectivas subcategorias.

Quadro 4 – Número de indicadores nas categorias e subcategorias.

Classificação	Categorias	Subcategorias										Total categorias
		Desempenho	Econômico	Entrada	Impacto ambiental	Operação	Perda	Processo	Recurso	Resultado	Saída	
Estratégico	Setor Industrial	5	1		4					2		12
	Regional	2										2
Tático	Sistema	4	4		5		1	2	5	7		28
	Subsistema	4	2	1	4		8	9	7	2	1	38
Operacional	Máquina	4				3		1		1		9
	Equipamento	6										6
	Componente			1		1				2		4
	Total Subcategorias	25	7	2	13	4	9	12	12	14	1	

Com a sumarização dos indicadores no quadro 4, é possível identificar a quantidade de indicadores em cada nível, categoria e subcategoria. Cada nível, categoria e subcategoria é descrita posteriormente.

4.2.3 Descrição das categorias

A classificação dos indicadores de eficiência energética no setor industrial, foi desenvolvida com base nos estudos relacionados na revisão sistemática e atividades correlatas nesses estudos. Assim os indicadores de eficiência energética foram classificados nos níveis hierárquicos de medição, de acordo com o foco de aplicação, em estratégico, tático e operacional (TEZZA; BORNIA; VEY, 2010).

Na manufatura os indicadores no nível estratégico, segundo Tezza, Bornia e Vey (2010), estão relacionadas as análises do cenário do negócio, interno e externo, do setor de atuação, da situação econômica, etc. Esse nível de medição está ligado a abordagens focada em aspectos vinculados ao futuro, que avaliam as estratégias subjacentes ao negócio, ligadas ao alcance de

objetivos macros a longo prazo (VOIGT, 2008).

Os indicadores de nível tático para Kostevšek *et al.* (2013), têm impacto significativo na medição da eficiência energética na manufatura. De acordo com De Soárez; Padovan; Ciconelli (2005), esse nível ligado ao monitoramento das variações no desempenho do sistema, subsistemas ou processos, que são derivados de seus processos centrais de ponta a ponta, relacionado as operações de entrada, consumo e saída dos sistemas, são ligados a abordagens focadas no monitoramento das variações no desempenho operacional, mensuração de processos e operações de controle. Tem o objetivo de monitorar e analisar a eficiência energética quanto ao consumo de energia, a energia material e de recursos, o desempenho energético, o custo do consumo de energia e a emissão de poluentes (WANG *et al.*, 2018).

Os indicadores de nível operacional, segundo os autores Lara, Sánchez e Villalobos (2020), correspondem as medições de curto prazo, que necessitam de acompanhamento regular que estão relacionados a ações que necessitam de respostas a curto prazo, diretamente ao *feedback* imediato e a medidas de rotina. Segundo Kostevšek *et al.* (2013), eles estão ligados os mecanismos de operação, ou unidades dos processos, a qual divide o uso e medição da eficiência energética de um subsistema em partes menores. No nível operacional, para Kara, Bogdanski e Li (2011), a medição ou monitoramento dos valores está relacionada as unidades funcionais dentro do processo, que permite obter uma imagem de como os elementos operam.

De acordo com os autores Heylen, Deconinck e Van Hertem (2018, p.555): “os níveis hierárquicos determinam as instalações e/ou o sistema em que indicador está focado”, assim, os indicadores de acordo com Farla e Blok (2000) podem ser aplicados a uma variedade de níveis. Desta maneira, os indicadores ainda são categorizados em níveis, no que diz respeito em termos de funções e uso de energia, que são: setor industrial e regional; sistemas e subsistemas, e máquinas, equipamentos e componentes, que também retratam uma hierarquia de indicadores de eficiência energética.

a) Os indicadores setor industrial

A categoria de setor industrial identifica os indicadores que fornecem uma visão global, sendo uma ferramenta de negócio para tomada de decisões, segundo os autores Ribeiro e Alves E Silva (2018), esses indicadores possibilitam a comparação com outros países e o acompanhamento da evolução da eficiência ao longo do tempo. Assim como os autores Andersson *et al.* (2018) e Mkwanzani *et al.* (2019) afirmam que esses indicadores podem ser usados como uma ferramenta de *benchmarking*, pois permitem a comparação entre plantas industriais, comparação de eficiência inter e intra dos setores de atividade, servem como base para a compreensão das características e relações das empresas nos mercados.

Esses indicadores auxiliam na obtenção de melhores informações sobre o uso de energia, para estabelecer condições políticas e também de sustentabilidade para a manufatura. Eles têm como objetivo promover a racionalização do consumo de energia, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, aumentando ainda a eficiência energética, sendo empregados para estimar a minimização do uso de energia em uma planta industrial (BUCCIERI, 2014).

b) Os indicadores regionais

A indústria desempenha um papel crítico no progresso econômico, desenvolvimento, emprego e questões ambientais, por isso, a medição da eficiência energética das regiões segundo Ang (2006), é importante para que se possa projetar e avaliar políticas regionais, tornando-se um componente importante da estratégia energética de muitos países, especialmente os com deficiência energética. Cabe ressaltar que o processo de tomada de decisão numa empresa requer conhecimento externo do ambiente em que ela atua, assim como saber os impactos da atividade do setor (LIU *et al.* 2012; MOUSAVI; KARA; KORNFIELD, 2014).

Os indicadores de eficiência energética de nível regional estão relacionados a avaliação do uso de energia e o aspecto econômico, e também refletem a eficiência na relação consumo-produto por unidade de energia consumida. Tal relação tem como finalidade, identificar de maneira geral o aporte de energia necessária para a produção de uma unidade econômica de um país em um determinado período. Os indicadores desse nível buscam o melhor desempenho energético no sistema, entrada, processamento e saída, para que os objetivos macros sejam atendidos.

c) Os indicadores de sistema

Os sistemas de produção de acordo com Do Vale Caribe (2009), são vistos como um conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens, assim, os indicadores no nível de sistema estão relacionados a entrada e saída de energia, e também a energia utilizada nos sistemas produtivos para a realização de uma atividade ou função para atingir um ou mais objetivos ou propósitos (finalidade do sistema). Os indicadores de sistema segundo Allan e Billinton (2000) representam o comportamento do sistema geral.

Os indicadores nesse nível quantificam conceitos relacionados ao sistema, resultante das interações dos componentes e das condições operacionais. Esses indicadores precisam considerar os fatores que impactam suas propriedades, levando em conta as influências externas e internas, como as características de consumo de energia, o tipo de recursos energéticos (carvão, combustível, eletricidade) e a tecnologia empregada (HOANG *et al.* 2014).

A utilização de indicadores a nível de sistema para a avaliação da eficiência energética pode auxiliar na redução do consumo de energia, melhoria da eficiência energética e a redução de emissões de resíduos, otimizando os sistemas, gerando assim benefícios econômicos, sociais e ambientais (LIU *et al.*, 2018).

d) Os indicadores de subsistema

Esses indicadores estão relacionados à eficiência energética dos subsistemas de produção, que processam e transformam os insumos em produtos finais. Os sistemas de fabricação têm muitos subsistemas que fazem parte de um sistema maior, de acordo com Boiko, Tsujiguchi e Varolo (2009), e todos podem funcionar independentemente uns dos outros, como estação de produção, estação de distribuição, estação de inspeção, etc.

Os indicadores de subsistema expressam o consumo energético na entrada e saída dos sistemas, a energia empregada nos recursos, serviços e materiais, a geração de energia nos processos, o consumo gerado no subsistema, etc. A aplicação desse conceito é uma maneira de dividir o uso de energia em um sistema industrial em partes menores (HOANG *et al.* 2017). Estes indicadores envolve o conceito de economia de energia, buscando mensurar o consumo energético, específico de produto, processo e produção.

Os indicadores nesse nível retratam o perfil de consumo da instalação e o potencial de conservação energética, fornecem informações sobre o desempenho de eficiência energética, é composto por os indicadores relacionados a componentes, equipamentos e máquinas. Esses indicadores, quando monitorados fornece informações sobre o desempenho destes elementos, para que auxilie na tomada de decisão tanto para a manutenção quanto para a substituição por um elemento mais eficiente.

e) Os indicadores de máquina

Esses indicadores indicam a energia consumida da máquina, o consumo na produção de produtos e o consumo de energia quanto ao estado de máquina, que de acordo com Alvandi *et al.* (2015), os estados de máquina compreendem máquina em setup, inicialização da máquina, máquina em operação, etc. Esses indicadores, segundo May *et al.* (2015), são fundamentais para a tomada de decisão na gestão da energia no ponto de vista da gestão da produção, pois permitem uma avaliação mais detalhada do consumo de energia (SCHMIDT *et al.*, 2016).

As máquinas são os dispositivos básicos de consumo de energia na fabricação, assim, a medição e monitoramento, tanto de consumo como de emissões devem ser considerados nas análises de eficiência energética, segundo Kara, Bogdanski e Li (2011) as informações de consumo de máquina podem ser utilizadas para melhorar o desempenho de energia no planejamento de produção. A consciência de energia no nível da máquina significa que os dados

de energia de uma máquina são coletados, recuperados e analisados para definir seu padrão de consumo de energia (SHROUF; GONG; ORDIERES-MERÉ, 2017).

f) Os indicadores de equipamento

Os indicadores de equipamento, visam a percepção da forma de consumo da energia, levando-se em consideração o seu aproveitamento e desperdício. Para Gong *et al.* (2019b), esses indicadores são usados para diagnosticar níveis de eficiência energética para que uma direção de melhoria mais aprofundada possa ser sugerida, expressam o consumo de energia, desempenho energético e eficiência dos equipamentos para a melhor seleção. E segundo Lindberg *et al.* (2015) podem ser usados para seguir as condições e desempenho de equipamentos. Em alguns casos, são fundamentais para fazer a análise de desempenho da função do equipamento, para prever quando a manutenção será necessária ou identificar as lacunas de desempenho, levando a ações de gestão (MUCHIRI *et al.*, 2011).

g) Os indicadores de componentes

Os indicadores nesse nível expressam o consumo energético, a energia total consumida e eficiência energética. De acordo com Tindemans (2019), um componente é um dispositivo que desempenha uma função operacional importante e é considerado uma entidade para fins de registro e análise de dados sobre ocorrências de interrupção, como um transformador, capacitores em série ou reatores etc. E também os componentes podem ser motores, unidades hidráulicas e pneumática, etc. (BLOS, 2020).

Os indicadores no nível de componente podem ser medidos diretamente, segundo Hoang *et al.* (2017), pois cada componente tem seu próprio perfil de energia de acordo com a operação que desempenha dentro do sistema, considerando também a interação entre componentes e sistemas. Pois, na maioria das vezes o indicador no nível do componente é baseado apenas na medição de seu consumo de energia e sua saída, mas o modo de operação pode ser modificado pelas funções do sistema.

4.2.4 Descrição das subcategorias

Os sistemas de fabricação segundo Liu *et al.* (2018), têm muitos subsistemas como, por exemplo, estação de produção, estação de distribuição e estação de inspeção, e de acordo com Tuo (2018), eles dispõem de máquinas e equipamentos com sistemas complexos, que contribuem para o aumento do nível de consumo total de energia. Esses sistemas têm um grande impacto no consumo de energia e recursos, nas emissões para o meio ambiente e, conseqüentemente, para a sociedade (FRANCIOSI *et al.*, 2018).

Para gerenciar efetivamente o desempenho energético de suas instalações, sistemas, processos, equipamentos, etc., as organizações precisam saber como a energia é utilizada e quanto é consumida ao longo do tempo. Segundo Phylipsen, Blok e Worrell (1997) o nível de atividade, a estrutura e a eficiência energética determinam o consumo de energia em um setor industrial. Para isso, é necessário o desenvolvimento e aplicação de indicadores de eficiência energética adequados, para compreender como a energia está sendo consumida (ANG, 2006).

O uso de indicadores permite o monitoramento e análises dos processos, fornecem informações para as decisões estratégicas e para auxiliar na aplicação dos indicadores, as categorias dos indicadores foram subdivididas em subcategorias de acordo com suas características e aplicação, com base na análise das publicações e dos indicadores nelas selecionadas, são essas as subcategorias: desempenho, econômico, entrada, impacto ambiental, operação, perda, processo, recurso, resultado e saída.

a) Indicadores desempenho

O indicador de desempenho energético de acordo com May *et al.* (2015) serve como medida para decidir se um sistema está funcionando como foi projetado, e ajudam a definir o progresso em direção a uma meta pré-definida. Segundo Boyd *et al.* (2005), também pode ser utilizado como uma ferramenta de benchmarking de energia para indústrias, para comparar seu desempenho atual de energia em relação às metas de desempenho futuro que se pretende alcançar. Estão relacionados a definição de estratégias de conservação de energia, a análise das tendências de consumo e condução das perspectivas de desenvolvimento da eficiência energética na indústria.

b) Indicadores econômicos

São indicadores associados a valor monetário, em moeda corrente, para identificar a relevância, o custo da energia, custo da economia energética no custo de investimento anual da indústria, análise do consumo interno por unidade produzido, a fim de identificar possíveis economias (LI *et al.*, 2017).

c) Indicadores de entrada e saída

São indicadores relacionados a partes do sistema, fornecem a informação da entrada e saída de energia e energia do sistema. De acordo com Ribeiro e Alves E Silva (2018) eles avaliam as entradas do processo, relacionado às entradas de energia e materiais do processo produtivo, no qual estão diretamente relacionados a eficiência energética dos processos. E também estão relacionados à energia gerada pelos resíduos industriais do sistema de fabricação, da energia material, energética e de serviços consumida e a energia desperdiçada no sistema, ou seja, são dirigidos para controlar recursos dos processos (NAVARRO, 2005).

d) Indicadores de operação

São indicadores que se concentram em partes do processo, auxiliando na identificação e diagnóstico do consumo energético de acordo com o nível de atividade, podem ser usados em vários processos de tomada de decisão, como por exemplo manutenção. Fornece informações sobre o consumo de energia, que podem desencadear uma ação de manutenção preventiva ou não, ou até a substituição. Identifica a variabilidade em termos de demanda e consumo de energia, desempenho energético, bem como a probabilidade de problemas. São indicadores que analisam as operações e suas consequências (OECD, 2008).

e) Indicadores de impacto ambiental

São indicadores abrangentes, relacionados aos impactos do efeito da utilização dos recursos, para avaliar a sustentabilidade energética, quanto a geração de poluentes nos processos. De acordo com Gasparini (2003) esses indicadores visam demonstrar as práticas organizacionais no sentido de minimizar os impactos ao meio ambiente decorrentes de suas atividades. Podem ser utilizados para analisar a eficiência de utilização de recursos renováveis na indústria, para verificar os níveis de consumo de recursos emissões (resíduos, efluentes e emissões) relacionadas às etapas do processo e no sistema, fornecem uma compreensão dos impactos ambientais, relativos as emissões de resíduos e de gases de efeito estufa, descarga de poluentes.

f) Indicadores de perda

Estes indicadores são utilizados para avaliar a perda energética, que segundo Antunes (2008), que estão relacionadas a energia perdida nos processos, com atividades que não geram valor ao produto, que correspondem a energia consumida pela necessidade de reprocesso, a energia residual do processo e energia ociosa na produção.

g) Indicadores de processo

São importantes para determinar a relação de consumo de energia do processo de produção, medem o andamento do processo e os resultados intermediários. Refletem as mudanças no sistema de desempenho da produção e fornecem suporte para avaliação e otimização do consumo energético dos sistemas de manufatura. Segundo May *et al.* (2015), estão relacionados a quantificação e avaliação da energia consumida nos processos, fornecendo informações para a previsão e análise de problemas, com objetivo de reduzir o consumo de energia ou aumentar a eficiência energética.

h) Indicadores de recurso

São utilizados para verificar e avaliar, o nível de consumo e de desempenho do sistema sob os aspectos de eficiência na utilização de recursos, material, matéria-prima, despesas e assim por diante, que incidem na redução do consumo energético (PAPETTI *et al.*, 2019).

i) Indicadores de resultado

Os indicadores de resultado indicam se os objetivos estão sendo alcançados. Segundo Hronec (1994), esses indicadores analisam o resultado das ações tomadas na operação do sistema e suas consequências, e refletem assim o potencial de desenvolvimento dos sistemas na redução do consumo energético industriais. Indicam da utilização e eficiência energética da produção e do sistema de fabricação.

4.2.5 Relação entre os categorias e subcategorias

Essa categorização está diretamente relacionada com nível de avaliação que o indicador afere, relacionadas as estratégias gerais da empresa. Nesta seção é apresentado as relações entre os níveis de decisão, as categorias e subcategorias.

a) Nível estratégico

No nível estratégico, nível macro, são constituídas as estratégias da organização, a partir das estratégias desenvolvidas, as medidas e ações são deduzidas para os demais níveis, para apoiar o processo de tomada de decisão e direcionar os esforços das áreas funcionais para a mesma direção. Neste nível os indicadores se prestam a avaliar a eficiência energética dos setores e regiões, com o intuito de analisar a organização num todo, facilitando o fluxo de informações melhorando o processo de decisão, para obter maior vantagem competitiva.

Categoria: Setor industrial

Subcategorias: econômico, desempenho, impacto ambiental e resultado

Estão relacionadas as estratégias da organização, as avaliações do desenvolvimento da eficiência energética em relação ao consumo – produto da indústria, para comparações internas ou externas com empresas do mesmo setor industrial. Fornecem uma visão global, do desempenho energético do setor industrial, a eficácia da empresa para reduzir o consumo de energia e os custos. Abordam o desenvolvimento sustentável na redução de emissões e poluição ambiental, que tem um impacto direto e importante sobre o meio ambiente, e reflete a intensidade energética do produto, que podem servir como métricas para a definição das políticas de eficiência energética.

Categoria: Regional

Subcategorias: desempenho e recurso

Está relacionada a medida de desenvolvimento da eficiência energética regional da indústria. Retrata a utilização do recurso energia e o nível de consumo de energia para a produção em relação ao desenvolvimento econômico da região. Está associado à forma como a energia é consumida e aos comportamentos econômico e social da região. Podem influenciar no desenvolvimento da indústria, na concepção e avaliação de políticas de eficiência energética local ou regional da indústria.

b) Nível tático

No nível tático analisam e avaliam a realização eficiente e eficaz dos objetivos, da organização. Está relacionada ao comportamento do sistema e seus subsistemas, que são as entradas, o processo de transformação e as saídas de acordo com Boiko, Tsujiguchi e Varolo (2009). Podendo o desempenho do sistema ser afetado pelos resultados dos seus elementos, pois age sobre vários fatores, como o consumo de serviços, matéria-prima, recursos energético, humano e econômico.

Categoria: Sistema

Subcategorias: econômico, desempenho, impacto ambiental, perda, recurso, processo e resultado.

Representam e quantificam o comportamento do sistema geral, juntamente com a análise dos subsistemas. Contribuindo para a tomada de decisão dos processos, para a melhoria do nível do consumo de energia e recursos, para a maximização da eficiência energética.

O desempenho do sistema tem um forte impacto na sustentabilidade da operação. Representam os esforços empregados para o desempenho da sustentabilidade nos sistemas de fabricação, na redução do consumo energético, descarga de poluentes, o uso de recursos renováveis e as medidas da eficiência energética em termos econômicos. Refletindo o desempenho do consumo energético, indicam o nível de utilização de recursos, o nível de produção mais limpa, a reciclagem dos sistemas de fabricação, a energia residual, recursos e desperdícios, ou seja, todos os resíduos gerados pelo sistema de fabricação.

Categoria: Subsistema

Subcategorias: econômico, desempenho, impacto ambiental, perda, recurso, saída, processo, entrada e resultado.

Está relacionada aos subsistemas ou processos do sistema, analisam e apontam, o consumo de energia dos subsistemas de produção. Refere-se ao monitoramento da energia na unidade produção em valores monetários, indicam custo da energia no processo, a perda de energia, o consumo de energia nas oscilações dos processos e consumo energético decorrentes de desperdícios no processo e atividades do processo sem valor agregado, refletindo a eficiência

energética dos processos. Apontam as medidas do impacto ambiental das emissões de resíduos na subunidade, utilização de energia renovável e recursos não renováveis nos subsistemas de manufatura.

c) Nível operacional

No nível operacional, os indicadores de eficiência energética na manufatura estão relacionados com os estados das máquinas, equipamentos e componentes. Neste nível, há a possibilidade de maior detalhamento do consumo energético, com o monitoramento direto dos componentes individuais, resultando em respostas rápidas, fornecendo informações para a tomada de decisão quanto medidas otimização do desempenho energético.

Categoria: Máquina

Subcategorias: Desempenho, processo, operação e resultado.

É onde se dá a análise dos componentes de parte dos processos, refere-se ao comportamento da máquina no processo, quanto ao seu consumo de energia por período. Está relacionado a análise do desempenho da máquina no processo para determinar sua alocação, apontando o consumo de energia da máquina, representando a taxa de uso de energia por período. Determinando a eficiência energética da máquina na execução das operações, ou seja, o quão eficiente energeticamente.

Categoria: Equipamento

Subcategoria: Desempenho

Está relacionada à avaliação do desempenho da eficiência energética de equipamentos. As medições neste nível podem ser analisadas com maior precisão, quando o monitoramento do consumo energético desses equipamentos é possível de ser realizado, a eficiência energética pode ser alcançada. As informações coletadas na medição e monitoramento neste nível, podem ser utilizadas para avaliar as estratégias dos processos, para determinar a alocação, seleção e o direcionamento do investimento para a substituição de uma equipamentos e também a interação com demais componentes do processo.

Categoria: Componente

Subcategorias: Desempenho, operação e resultado

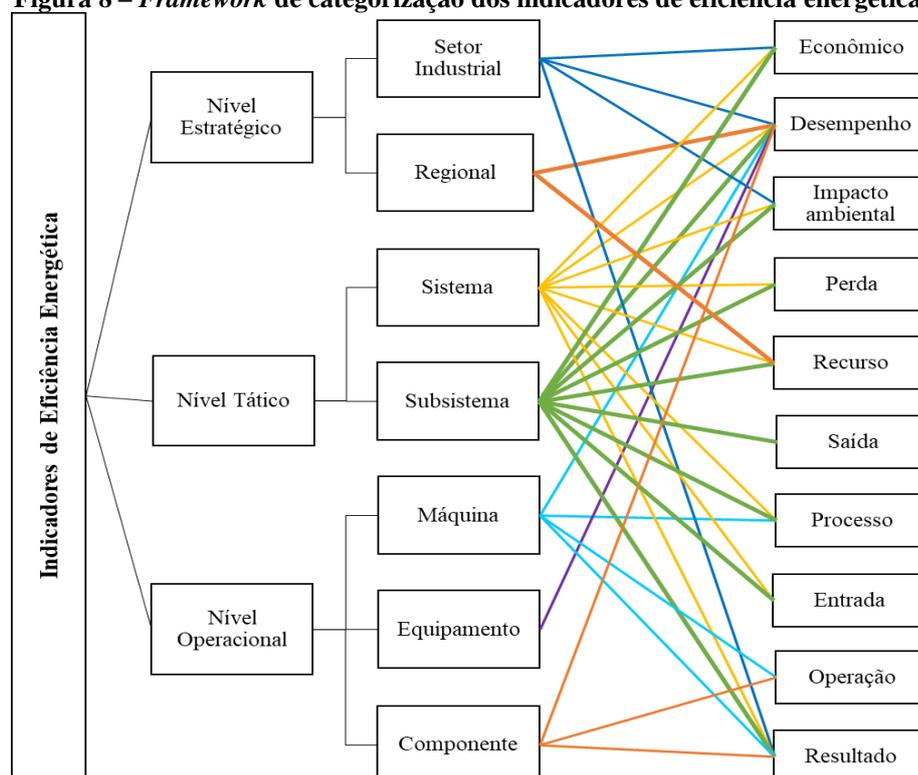
Apontam o consumo de energia do componente no desempenho de suas funções e operação de acordo com as suas funções no sistema. Está relacionada ao desempenho do componente, consumo de energia, característica e as condições de operação, indicando a energia de entrada e saída do nível de componentes que afetam diretamente a eficiência energética.

4.3 Framework conceitual

Essa etapa consistiu em definir a sistematização da categorização dos indicadores, categorizados por meio de uma análise funcional nos níveis de medição organizacional. O processo de mapeamento foi desenvolvido com base em uma revisão sistemática da literatura, por meio da análise de sua semântica, os indicadores foram classificados em uma dimensão, categoria e subcategorias, para estruturação da proposta de um *framework* conceitual de categorização dos indicadores de eficiência energética.

A partir da investigação dos pontos em comum entre os elementos teóricos, foi possível fragmentar a medição energética no setor industrial, os indicadores foram colocados em vários conjuntos de acordo com a aplicação e a relevância dos indicadores. Assim, os indicadores foram classificados em três níveis: estratégico, tático e operacional e, que foram divididos em três categorias: setor industrial e regional, sistemas e subsistemas, máquinas, equipamentos e componentes. E ao analisar a aplicação e a utilização, os indicadores foram subdivididos em subcategorias, são elas: desempenho, econômico, entrada, impacto ambiental, operação, perda, processo, recurso, resultado e saída, possibilitando assim o desenvolvimento e disposição dos indicadores em um *framework* de categorização, apresentado na Figura 8, que demonstra a classificação, as categorias e as subcategorias dos indicadores de eficiência energética.

Figura 8 – Framework de categorização dos indicadores de eficiência energética.



Fonte: Aatoria Própria (2021).

A Figura 8, ilustra o *framework* conceitual de categorização dos indicadores de eficiência energética que compreende os três níveis de medição de desempenho da eficiência energética identificados anteriormente. A formulação deste *framework* proporciona a visualização clara e objetiva da aplicação dos indicadores de eficiência energética para a tomada de decisão na manufatura.

O *framework* representa os níveis de medição da eficiência energética na manufatura, de uma rede hierárquica para representar a análise da eficiência energética. O primeiro mecanismo do *framework* conceitual se refere aos indicadores de análise dos setores de atuação ou região para identificar o comportamento de consumo energético, onde é realizada a estruturação e centralização da tomada de decisão. O segundo nível fornece mais detalhes, dando o uso de energia por sistema ou subsistemas produção que podem explicar as variações na intensidade energética nas indústrias. E o terceiro nível está relacionado aos indicadores direcionados aos componentes de suporte dos processos, que compreendem máquinas, equipamentos e componentes, que são específicos para determinadas funções.

A construção do *framework* de indicadores teve como ponto de partida a caracterização das categorias destes indicadores de eficiência energética identificados na literatura. Esse *framework* estabelece uma estrutura de ligação entre a estratégia da organização, níveis de hierarquia estratégica e dos setores de aplicações dos indicadores de eficiência energética na indústria. Essa identificação e organização dos diferentes indicadores de acordo com Costa (2003) favorece a integração dos objetivos da organização com as medidas de desempenho voltadas ao nível operacional. É necessário construir uma visão compartilhada das estratégias da organização, sendo importante desenvolver e comunicar o sentido claro do propósito da organização (BARTLETT e GHOSHAL, 2001).

O *framework* ajuda a orientar a seleção de indicadores em relação aos objetivos, permite que as partes interessadas identifiquem dentro da listagem dos indicadores aqueles que lhe forem mais úteis e adequados de acordo com a sua necessidade, metas e prioridades. A categorização dos indicadores aqui proposta, aborda diferentes níveis de abstração do setor industrial (Hoang *et al.* 2014), desde o nível de componentes até os níveis mais altos da organização. Esta repartição permite uma melhor compreensão dos fluxos de utilização de energia no setor industrial (GONG; SHAO; ZHU, 2019b)

4.4 Avaliação da categorização e do *framework*

A categorização dos indicadores de eficiência energética proposta foi avaliado por meio

de uma entrevista online, via vídeo chamada, juntamente com o entrevistador, o entrevistado pode analisar as categorias, as subcategorias, a relação entre elas e o *framework* de categorização dos indicadores.

O participante selecionado foi contactado via correio eletrônico, foi enviado a carta de apresentação, com o convite para participar da entrevista. E com o aceite, foi marcado a entrevista para a avaliação, que foi realizada conforme definido no roteiro de entrevista (Apêndice E). A primeira parte foi realizado a coleta da assinatura do Termo de consentimento (Apêndice F) e foi coletado as informações do participante no Apêndice G. O participante é um profissional com formação acadêmica em Engenharia elétrica, que atua na área de Engenharia de Operações da indústria, com mais de 10 anos de experiência na indústria, trabalhando com a aplicação de indicadores de eficiência energética. Após a caracterização do participante, foi realizado a apresentação do estudo e as orientações da avaliação. E então, foi realizada a avaliação do *framework* de categorização dos indicadores de eficiência energética.

A avaliação do estudo, foi realizada utilizando um questionário, com questões objetivas com um campo aberto para observações ou sugestões, para haver uma melhor troca de informações. Os dados coletados foram tabulados em uma planilha do aplicativo *Microsoft Excel* para serem analisadas.

As categorias foram avaliação primeiramente quanto a concordância com as categorias apresentadas, o entrevistado concordou com as categorias, ressaltando que as mesmas representam a hierarquia, abordando os níveis de decisão das empresas. Ainda, o entrevistado fez algumas observações pontuais quanto as categorias, para a categoria setorial, sugeriram a adequação do nome para que seja o termo “setorial”, não seja entendido como setor internos das indústrias, na descrição da categoria máquina, sugeriu-se a alteração do termo “estado de máquina”, o termo se refere ao consumo da máquina de acordo com o seu modo atividade, o consumo durante *setup*, espera, *stand-by*, etc., pois o termo na indústria pode ser entendido como o modo de apresentação da máquina. Ainda apontou que a categoria subsistemas corresponde a um nível muito importante para a avaliação da eficiência energética e que a categoria componente envolve medições muito complexas, nas quais muitas vezes não são realizadas devido à dificuldade para a obtenção dos dados. Coube ainda o julgamento das categorias quanto a sua relevância, sendo essas, na visão do entrevistado, entendidas como relevantes (Tabela 4).

Tabela 4 – Avaliação das categorias.

Avaliação	Concordância		Relevância				
	Sim	Não	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Setorial	x		x				
Regional	x			x			
Sistemas	x			x			
Subsistemas	x		x				
Máquinas	x		x				
Equipamentos	x		x				
Componentes	x			x			

Fonte: O Autor (2021)

As subcategorias, também foram avaliadas quanto a concordância do entrevistado com as subcategorias definidas. Houve a concordância com todas as subcategorias, e ainda o entrevistado fez algumas observações quanto a algumas subcategorias. De acordo com o profissional, a categoria “econômico” é muito importante, pois identifica a relação de custo de produção, que são os indicadores mais utilizados na indústria são os que fazem a relação do consumo energético com a produção total, e que o fator econômico é o objetivo de uma empresa. Pontuou ainda algumas observações quanto a descrição das categorias, que poderiam ser feitas, para que pudesse ter uma melhor representação, visto que no âmbito indústria.

Das subcategorias, 30 % delas foram avaliadas como fortemente relevantes e 30% destas foram consideradas relevantes. E duas subcategorias foram avaliadas quanto a sua relevância, de modo neutro, pois de acordo com o profissional, na aplicação do ambiente que está inserido, as subcategorias não são tão evidenciadas, os resultados são apresentados no Tabela 5.

Tabela 5 – Avaliação das subcategorias.

Avaliação	Concordância		Relevância				
	Sim	Não	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Desempenho	x		x				
Econômico	x		x				
Entrada	x			x			
Impacto ambiental	x				x		
Operação	x			x			
Perda	x		x				
Processo	x			x			
Recurso	x				x		
Resultado	x			x			
Saída	x			x			

Fonte: O Autor (2021)

As categorias e subcategorias, também foram avaliadas quanto a relação entre elas, o

resultado da avaliação é apresentado no Tabela 6. Sendo avaliado a concordância do profissional entrevistado, quanto as relações apresentadas, apontando sim ou não para cada uma delas. Na avaliação, o profissional entrevistado, não aprovou três relações, sendo uma entre a categorias sistema e a subcategoria Recurso, outra da categoria subsistema com a subcategoria recurso, em que apontou que os recursos são questões abordadas de modo mais estratégico, no entanto considerando que a relação nesse nível se dá quanto ao consumo desses recursos. E uma da categoria componente com a subcategoria desempenho, uma vez que, de acordo com o entrevistado, no seu ponto de vista o desempenho está relacionado a níveis acima.

Tabela 6 – Avaliação das relações entre categorias e subcategorias.

Subcategoria	Categorias							Total
	Setorial	Regional	Sistemas	Subsistemas	Máquinas	Equipamentos	Componentes	
Desempenho	1	1	1	1	1	1	0	6
Econômico	1		1	1				3
Entrada				1				1
Impacto ambiental	1		1	1				3
Operação					1		1	2
Perda			1	1				2
Processo			1	1	1			3
Recurso			0	0				0
Resultado	1		1	1	1		1	5
Saída				1				1
Total	4	1	6	8	4	1	2	

Fonte: O Autor (2021).

Na Tabela 6, pode ser observado as categorias e subcategorias que estão mais relacionadas entre si. Destacando a categoria subsistema e sistema, que está relacionada a maioria das subcategorias, o que pode levar ao entendimento, que os indicadores nesse nível são amplamente aplicados. E se destacou, a subcategoria desempenho e resultado, que estão relacionadas na maior parte das camadas, dos níveis de medição, que demonstra a aplicação de indicadores para analisar, compreender e monitorar os resultados quanto ao desempenho da eficiência energética na indústria.

Para a avaliação do *framework* de categorização dos indicadores de eficiência energética, coube ao profissional entrevistado apontar sua concordância quanto os atributos: clareza, formato, usabilidade e relevância, os resultados estão relacionados na Tabela 7. A avaliação do *Framework*, obteve uma forte concordância com os atributos usabilidade e relevância e concordância com os atributos clareza e formato.

Tabela 7 – Avaliação do *framework*.

Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Clareza		x			
Formato		x			
Usabilidade	x				
Relevância	x				

Fonte: O Autor (2021).

Foi apontado ainda na avaliação a adequação da apresentação das categorias, para que as mesmas correspondam coma ordem que são descritas no texto, e também foi sugerido pelo entrevistado o apontamento de qual indicador corresponde a cada subcategoria, no entanto entendeu-se que o mesmo levaria a uma poluição visual, quanto a apresentação do *framework*.

A partir das observações relacionadas na avaliação, para uma melhor aplicabilidade do instrumento, considerando as observações pertinentes para a melhoria da apresentação da categorização dos indicadores, o *framework* foi ajustado, e é apresentado a seguir, na Figura 9. E também foi realizado a revisão da descrição das categorias e subcategorias, para que pudesse corresponder da melhor forma aos seus indicadores.

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da pesquisa sobre a eficiência energética aumentou o interesse no desenvolvimento da eficiência energética e pelos indicadores de eficiência energética na indústria. A melhoria da eficiência energética segundo Sola e Mota (2015), resulta na economia de energia por meio de redução de perdas de energia, uso de equipamentos mais eficientes, mudança de tecnologia, troca de fonte de energia, entre outras ações. Para melhorar os esquemas tradicionais de diagnóstico de eficiência energética na indústria é necessário extrair os potenciais fatores de economia de energia e melhorar o nível global de eficiência da produção, o que requer uma análise profunda das fases internas de operação e entender o funcionamento dos processos internos e equipamentos (GONG; SHAO; ZHU, 2019b).

A indústria é um dos principais consumidores de energia, o uso eficiente da energia tem um grande impacto nos processos produtivos, tanto na redução das perdas como na sua racionalização. Considerando de acordo com Mosko (2010), que grande parte dos custos de produção na indústria são referentes ao consumo de energia elétrica, isso demonstra a importância do uso apropriado e eficiente da energia. Por isso, o objetivo principal de qualquer sistema de fabricação é reduzir o custo de produção por unidade e isso pode ser alcançado melhorando a eficiência e a produtividade de energia.

Com o intuito de contribuir para o desenvolvimento da eficiência energética da indústria, esse estudo viabilizou uma proposta da categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados a indústria, fornecendo uma visão da aplicação dos indicadores, para fundamentar a definição de indicadores pelos tomadores de decisão. Em termos gerais, a metodologia aplicada envolve uma revisão sistemática da literatura, apresenta um panorama das publicações selecionadas na revisão sistemática, identificando os autores, países das

publicações, instituições, periódicos, citações, palavra-chave e a área de estudo da publicação, e uma análise do conteúdo, realizada para a seleção e categorização dos indicadores de eficiência energética estabelecendo uma divisão em categorias e subcategorias.

De acordo com May et al. (2015), os indicadores auxiliam na identificação dos fatores de energia, do comportamento do perfil de energia, no reconhecimento das relações de causa-efeito e na definição de ações para medidas de melhoria nos sistemas de produção. Os indicadores da industrial, são indicadores que controlam e monitoram processos críticos da empresa, dessa forma para auxiliar na tomada de decisão, esses indicadores precisam ser disponibilizados para as organizações. Com o intuito de auxiliar as indústrias na definição ou escolha de indicadores adequados, um dos objetivos desse trabalho foi identificar e selecionar os indicadores usados em pesquisas anteriores, criando uma lista de indicadores, que pode desempenhar uma função de guia para a definição dos indicadores para os diferentes setores industriais (BORSCHIVER, 2007).

Como consequência da busca nas publicações, 99 indicadores de eficiência energética existentes utilizados na indústria foram selecionados, e foram também identificadas as informações referentes a cada indicador, que foram reunidas no Quadro 2, onde cada indicador é apresentado, contendo as informações quanto as características desses indicadores, o seu nome, descrição, fórmula, variáveis e fonte. Ainda que esses indicadores estejam na literatura, e possam ser consultados, a listagem e descrição desses indicadores, fórmula de cálculo, possibilita ao tomador de decisão selecionar e escolher indicadores relevantes para monitorar e orientar no desenvolvimento da eficiência energética da empresa.

Geralmente, a eficiência energética pode ser medida por vários indicadores em diferentes níveis, pois segundo Kara *et al.* (2011), a energia consumida por estes sistemas pode ser classificada e categorizada em uma hierarquia de camadas de acordo com o nível de abrangência. Para auxiliar os tomadores de decisão da indústria na escolha de seus indicadores, foi proposto essa categorização de indicadores relacionados a diferentes setores industriais, para tornar o seu entendimento mais claro e organizado, sobre a definição de indicadores. Nesse trabalho, como proposta, os indicadores foram categorizados, no que diz respeito em termos de funções e uso de energia, em sete categorias, que são: setor industrial e regional, sistemas e subsistemas, máquinas, equipamentos e componentes. Sob as categorias, existem dez subcategorias. São elas: desempenho, econômico, entrada, impacto ambiental, operação, perda, processo, recurso, resultado e saída e os indicadores são classificados em três dimensões, estratégico, tático e operacional, que também retratam uma hierarquia de indicadores de eficiência energética.

No quadro 3 (Categorização dos Indicadores de eficiência energética), o nível tático contém a maioria dos indicadores (66), respondendo por aproximadamente 66,67% do total de indicadores, demonstrando assim que a maioria dos indicadores são aplicados no nível tático, concentrando seus esforços na avaliação dos sistemas e subsistemas.

A abordagem de categorização do indicador é baseada na estrutura do sistema de produção, com entrada, processamento e saída. Para demonstrar a categorização constituída, foi desenvolvido um *framework* de categorização dos indicadores de eficiência energética, é apresentado na figura 8, fornecendo uma abordagem relacionada aos níveis hierárquicos das empresas, sendo esses: estratégico, tático e operacional, com o objetivo de relacionar os indicadores aplicados aos diferentes níveis de medição.

Quanto a avaliação das contribuições propostas nesse trabalho, destaca-se o processo de avaliação de conteúdo, referente a categorização dos indicadores de eficiência energética, com sete categorias e onze subcategorias, das relações elas e o *framework* de categorização, que foram conceituadas e avaliadas por meio de entrevista estruturada, envolvendo um profissional do setor industrial e foram apontadas a concordância e relevância da abordagem. A avaliação subsidiou algumas modificações na proposta de categorização, contemplando a aplicação e realidade da categorização dos indicadores.

Este trabalho pretendeu demonstrar a importância da pesquisa na contribuição da construção do conhecimento, com estudos voltados a auxiliar o desenvolvimento da indústria, de modo mais eficiente, contribuindo assim conseqüentemente para a sociedade. A estrutura conceitual, o *framework* de categorização dos indicadores, é uma abordagem genérica para a definição de indicadores de acordo com as necessidades individuais de cada indústria, portanto, podem ser emitidas para diferentes tipos de sistemas de manufatura e em cada nível de abstração desses sistemas. Este trabalho também demonstra que os indicadores também não são definidos isoladamente, mas devem ser o resultado de uma análise cuidadosa da sua função e aplicação.

Este trabalho demonstra que o estabelecimento de indicadores deve ser realizado através da interação entre os níveis, uma vez que os resultados decorrem das estratégias e ações da empresa num todo, para alcançar o objetivo geral no desenvolvimento da eficiência energética. Ainda que a aplicação dos indicadores seja direcionada aos diferentes níveis, as estratégias adotadas devem ser complementares, para que seja possível o desenvolvimento global da empresa. Os resultados derivados deste estudo podem ser usados como referência para auxiliar no gerenciamento de energia e no desempenho industrial geral. Em conclusão, as contribuições desse trabalho estão relacionadas a seleção, a escolha e a listagem, dos indicadores de eficiência

energética, nos quais são relevantes para monitorar e orientar a indústria em direção ao desenvolvimento da eficiência energética.

As contribuições desse trabalho podem servir como alavanca fundamental para os sistemas industriais para enfrentar as questões relacionadas ao desenvolvimento mais eficiente energeticamente. No entanto, é preciso ressaltar que o trabalho apresenta algumas limitações, como por exemplo, a restrição quanto ao período pesquisado e às bases de dados e acesso não gratuito de alguns artigos, que afeta consequentemente o corpus adotado para análise nesta pesquisa.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se uma continuação do estudo, ampliando-se os termos de busca, ou ainda trabalhando se com diferentes bases de busca, no intuito de realizar uma varredura ainda mais intensa acerca do tema. Outras pesquisas adicionais poderão ampliar este núcleo, abrangendo outras fontes, que visa agregar mais indicadores, e realizar análise de conteúdo similar à apresentada neste trabalho, e também investigar outras formas de agrupamentos, para os diferentes atributos, realizar a categorização dos processos e indicar quais indicadores usar.

Recomenda-se também estudar o *framework* de categorização dos indicadores de eficiência energética, estudar a estrutura de utilização de energia no processo industrial e os fatores que influenciam o consumo energético, para identificação das melhorias no desempenho da eficiência energética em cada nível, pois existem muitos fatores envolvidos em um processo industrial que afetam a utilização de energia. Assim, também deve-se analisar a interação dos indicadores entre os níveis, verificando a influência desses indicadores interligando a estratégia, os recursos e os processos da indústria, a diferenciação de seus níveis de importância ou a sua ponderação visando sinalizar seus graus de prioridade para os objetivos estabelecidos.

A literatura retrata a necessidade da troca de informações, a disposição de dados para benchmarks entre as indústrias, para compreenderem o comportamento e como é mensurado o consumo energético em outras empresas, o que contribui para o desenvolvimento da eficiência energética. As indústrias estão sob pressão para reduzir o consumo energético e também para reduzir as emissões, no entanto. Outros trabalhos apontam que várias indústrias ainda têm questões a serem resolvidas para a melhorar a eficiência energética, precisam fazer uma análise profunda dos padrões de consumo de energia dos seus processos, carecem de métodos de captura, para coleta e processamento de dados do consumo de energia, que tenham interação entre si. Como resultado, o consumo ineficiente de energia pode ser reduzido, promovendo assim o desenvolvimento mais eficiente energeticamente da indústria.

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, E.; SAIDUR, R.; MEKHILEF, S. A review on energy saving strategies in the industrial sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.15, p.150-168, 2011.
- ABESCO. O que é eficiência energética? 2008. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee>> Acesso 28 de março de 2021.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 50001:2011: Sistemas de Gestão de Energia: Requisitos com orientações de uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011
- ADEN, N.; BRADBURY, J.; TOMPKINS, F. Energy efficiency in US manufacturing: the case of Midwest pulp and paper mills. **World Resources Institute**, 2013.
- ALLAN, R; BILLINTON, R. Probabilistic assessment of power systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 88, n. 2, p. 140-162, 2000.
- ALMEIDA, A. R. D. **Indicadores energéticos: instrumentos de apoio ao desenvolvimento sustentável**, 2016, 131 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2016.
- ALVANDI, S.; BIENERT, G.; LI, W.; KARA, S. Hierarchical modelling of complex material and energy flow in manufacturing systems. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 92-97, 2015.
- ANDERSON, S. T.; NEWELL, R. G. Information programs for technology adoption: the case of energy-efficiency audits. **Resource and Energy Economics**, v. 26, n. 1, p. 27-50, 2004.
- ANDERSSON, E.; ARFWIDSSON, O.; THOLLANDER, P. Benchmarking energy performance of industrial small and medium-sized enterprises using an energy efficiency index: Results based on an energy audit policy program. **Journal of Cleaner Production**, v.182, p.883-895, 2018.
- ANG, B. W. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: from energy - GDP ratio to composite efficiency index. **Energy policy**, v. 34, n. 5, p. 574-582, 2006.
- ANG, J. B. Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. **Journal of Policy Modeling**, v. 30, n. 2, p. 271-278, 2008.
- ANTUNES, J. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Bookman Editora, 2009.
- APEANING, R. W.; THOLLANDER, P. Barriers to and driving forces for industrial energy efficiency improvements in African industries—a case study of Ghana's largest industrial area. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 204-213, 2013.
- ARENS, M.; WORRELL, E.; EICHHAMMER, W. Drivers and barriers to the diffusion of energy-efficient technologies – a plant-level analysis of the German steel industry. **Energy Efficiency**, v. 10, n. 2, p. 441-457, 2017.

- BAJPAI, A.; FERNANDES, K. J.; TIWARI, M. K. Modeling, analysis, and improvement of integrated productivity and energy consumption in a serial manufacturing system. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 296-304, 2018
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: edições, v. 70, p. 225, 2011.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: edições, v. 70, p. 225, 1977.
- BARROS NETO, J. D. P.; FENSTERSEIFER, J. E.; FORMOSO, C. T. Os critérios competitivos da produção: um estudo exploratório na construção de edificações. **Revista de administração contemporânea**, v. 7, n. 1, p. 67-85, 2003.
- BARTLETT, C.A.; GHOSHAL, S. Formando estrutura nas mentes dos gerentes. In: MINTZBERG, H.; QUINN, J.B. O processo da estratégia. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BARRELLA, Flávio A. et al. Ferramenta para Tomada de Decisão Considerando a Interação dos Sistemas de Produção e o Meio Ambiente. *Revista Produção*, São Paulo, v. 15, n. 1, p.087-101, jan. 2005.
- BAYSAN, S.; KABADURMUS, O.; CEVIKCAN, E.; SATOGLU, S. I.; DURMUSOGLU, M. B. A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry. **Journal of cleaner production**, v. 211, p. 895-908, 2019.
- BETTO, L.; FERREIRA, G. M. V.; TALAMINI, E. Aplicação da matriz importância-desempenho no varejo de alimentos: um caso no Rio Grande do Sul. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 4, n. 2, p. 64-79, 2010.
- BHADBHADDE, N.; YILMAZ, S.; ZUBERI, J. S.; EICHHAMMER, W.; PATEL, M. K. Tevolution of energy efficiency in Switzerland in the period 2000–2016. **Energy**, v. 191, p. 116526, 2020.
- BLEIK, S.; MISHRA, M.; HUAN, J.; SONG, M. Text categorization of biomedical data sets using graph kernels and a controlled vocabulary. **IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics**, v.10, n.5, p.1211-1217, 2013.
- BLOS, T. M. Estudo de indicadores de eficiência energética na usinagem integrando monitoramento de energia com sistema de execução de manufatura. 2020. 104 f. Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2020.
- BOIKO, T. J. P.; TSUJIGUCHI, L.T. A. D.; VAROLO, F. W. R. Classificação de sistemas de produção: uma abordagem de engenharia de produção. **ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**, v.4, p.1-14, 2009.
- BORSCHIVER, S. Levantamento, classificação e categorização dos indicadores da atividade de PD&E. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 1, n. 1, p. 53-69, 2007.
- BOSSSEL, H. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications**. 1999.
- BOURNE, M.; KENNERLEY, M.; FRANCO-SANTOS, M. Managing through measures: a study of impact on performance. **Journal of manufacturing technology management**, v. 16, n. 4, p. 373-395, 2005.
- BOYD, G.A. A method for measuring the efficiency gap between average and best practice energy use: the ENERGY STAR industrial energy performance indicator. **Journal of industrial Ecology**, v. 9, n. 3, p. 51-65, 2005.
- BROBERG, T.; BERG, C.; SAMAKOVLIS, E. The economy-wide rebound effect from improved energy efficiency in Swedish industries – A general equilibrium analysis. **Energy**

Policy, v. 83, p. 26-37, 2015.

BRUNKE, J. C.; JOHANSSON, M.; THOLLANDER, P. Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices and energy services in the Swedish iron and steel industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 509-525, 2014.

BUCCIARI, G. P. Modelagem para identificação de indicadores de eficiência energética para edificações e plantas industriais. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2014.

BÜHLER, F.; ZÜHLSDORF, B.; NGUYEN, T. V.; ELMEGAARD, B. A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production. **Applied Energy**, v. 250, p. 1383-1401, 2019.

BUNSE, K.; SACHS, J.; VODICKA, M. Evaluating energy efficiency improvements in manufacturing processes, 2010. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 19-26, 2009.

BUNSE, K.; VODICKA, M.; SCHÖNSLEBEN, P.; BRÜLHART, M.; ERNST, F. O. Integrating energy efficiency performance in production management—gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 667-679, 2011.

CAGNO, E.; RAMIREZ-PORTILLA, A.; TRIANNI, A. Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector. **Energy Policy**, v. 83, p. 240-256, 2015.

CAI, W.; LIU, F.; ZHOU, X.; XIE, J. Fine energy consumption allowance of work pieces in the mechanical manufacturing industry. **Energy**, v.114, p.623-633, 2016.

CAI, W.; LIU, C.; ZHANG, C.; MA, M.; RAO, W.; LI, W.; HE, K.; GAO, M. Developing the ecological compensation criterion of industrial solid waste based on energy for sustainable development. **Energy**, v.157, p.940-948, 2018.

CALILI, R. F.; MORABITO, G. F. Proposição de indicadores para avaliar e mensurar a eficiência das subestações de um Microgrid. 2017.

CÂMARA, R. H. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, v.6, n.2, p.179-191, 2013.

CAMPOS, C. J. G. Método de análise de conteúdo: ferramenta para a análise de dados qualitativos no campo da saúde. **Revista brasileira de enfermagem**, v.57, n.5, p.611-614, 2004.

CANEPPELE, F. D. L. Sistema fuzzy de suporte a decisão para aplicação de programa de eficiência energética em serrarias. 2011. 160 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu, 2011.

CARNOT, S. **Reflections on the Motive Power of Fire, and on Machines Fitted to Develop that Power**. Paris: Bachelier, 1824.

CARREGARO, J. C. Proposta de indicadores de desempenho às distribuidoras de energia federalizadas do setor elétrico brasileiro. 2003. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CHANDLER, A. D. **The Visible Hand** – Managerial Revolution in American Business, Harvard University Press, Boston, MA, p.608, 1977.

CHEN, D.; LU, B.; CHEN, G.; YU, W. Influence of the production fluctuation on the process

energy intensity in iron and steel industry. **Advances in Production Engineering & Management**, v. 12, n. 1, p. 75, 2017.

CHEN, X. H.; LI, C. Q.; ZHANG, G. R.; JI, H. L.; BAI, S. Z. Is the quality of economic growth in concordance with energy efficiency. **Journal Natural Resources**. v.11, p. 1859-1868, 2013.

CHEUNG, P. **Curso de Eficiência Energética no Saneamento**. Guia do profissional em treinamento. Apostila a ser publicada pela RECESA, 2008.

CIMA, F. M. Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético integrado. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORSINI, A.; DE PROPRIIS, L.; FEUDO, S.; STEFANATO, M. Assessment of a diagnostic procedure for the monitoring and control of industrial processes. **Energy Procedia**, v.75, p.1772-1778, 2015.

COSTA NETO, P. L. D. O.; CANUTO, S. A. **Administração com qualidade: conhecimentos necessários para a gestão moderna**. São Paulo: Blucher, 2010.

COSTA, D. B. Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas de construção civil. 2003, 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grandedo Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2003.

CRIOLLO, L. F. R. Monitoramento e avaliação da regulamentação sobre rotulagem de alimentos alergênicos no Brasil: proposição de indicadores e métricas. 2016, 116f. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Rio de Janeiro, 2016

DE ARRUDA BORGES, A. P. A.; PETRI, S. M. Indicadores de desempenho da construção civil-uma pesquisa na literatura internacional. In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS – ABC. 2013.

DE CASTRO, M. A.; DURÃES, R. C. F.; LIBÂNIO, M. Monitoramento de Indicadores de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2011, Porto Alegre. Saneamento Ambiental: A Excelência da Gestão como Caminho para a Universalização, 2011.

DE ENERGIA, Companhia Paranaense. Manual de eficiência energética na indústria. 2018. Disponível em: < https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/5171/Manual_Eficiencia_Energetica_na_Industria.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

DE ENERGIA, Companhia Paranaense. Manual de eficiência energética na indústria. Diretoria de Distribuição – DDI. Paraná, Nov, 2005.

DE SOÁREZ, P. C.; PADOVAN, J. L.; CICONELLI, R. M. Indicadores de saúde no Brasil: um processo em construção. **RAS**, v. 7, p. 27, 2005.

DE TONI, A.; TONCHIA, S. Performance measurement systems-Models, characteristics and measures. **International Journal of Operations & Production Management**, v.21, n.1-2, p. 46-71, 2001.

DEMO, P. **Introdução da Metodologia**. São Paulo: Atlas, 1985.

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a systematic review. In D. BUCHANAN AND A. BRYMAN (eds.), *The Sage Handbook of Organizational Research Methods*. London: Sage, pp. 671-689, 2009.

- DIAS, T. F. Avaliação de indicadores operacionais: estudo de caso de uma empresa do setor ferroviário. 2008, 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora (EPD/UFJF), Juiz de Fora, MG, 2008.
- DINCER, I. Environmental Impacts of energy. **Energy Policy**, v.27, n.14, p.845-854, 1999.
- DO VALE CARIBE, R. D. C. Sistema de indicadores: uma introdução. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v.7, n.1, p.1-23, 2009.
- DOUGLAS, J. Building performance and its relevance to facilities management. **Facilities**, v.14, n.3-4, p.23-32, 1996.
- DUFLOU, J.R.; SUTHERLAND, J.W.; DORNFELD, D.; HERRMANN, C.; JESWIET, J.; KARA, S.; HAUSCHILD, M.; KELLENS, K. Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. **CIRP annals**, v.61, n.2, p. 587-609, 2012.
- EGGHE, L. On the law of Zipf-Mandelbrot for multi-word phrases. **Journal of the American Society for Information Science**, v.50, n.3, p.233-241, 1999.
- EICHHAMMER, W.; WILHELM, M. Industrial energy efficiency: indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry. **Energy Policy**, v.25, n.7-9, p.759-772, 1997.
- ELETROBRAS. **Gestão energética**. Rio de Janeiro, 2005.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 - ano base 2019. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: > <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica><. Acesso em: 10/08/2021.
- ESCRIVÃO JUNIOR, A. Uso de indicadores de saúde na gestão de hospitais públicos da Região Metropolitana de São Paulo. Núcleo de pesquisas e Publicações, Escola de Administração de empresas-Fundação Getúlio Vargas. Série de Relatórios de Pesquisa. Relatórios, v. 9, 2004.
- EUROSTAT, E. U. energy in figures: statistical pocketbook 2013. **European Commission: Brussels**, Belgium, 2013.
- FARLA, J. C.; BLOK, K. The use of physical indicators for the monitoring of energy intensity developments in the Netherlands, 1980–1995. **Energy**, v. 25, n. 7, p. 609-638, 2000.
- FAVATO, L. B. Indicadores de eficiência energética em edifícios da USP: concepção, aplicabilidade e desdobramentos energéticos–ambientais associados. 2005. 51f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005.
- FENERICH, F. C.; DA COSTA, S. E. G.; DE LIMA, E. P. Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda. **IEEE Latin America Transactions**, v.15, n.3, p.415-422, 2017.
- FENG, C.; WANG, M.; ZHANG, Y.; LIU, G. C. Decomposition of energy efficiency and energy-saving potential in China: A three-hierarchy meta-frontier approach. **Journal of Cleaner Production**, v.176, p.1054-1064, 2018.
- FERNANDES, D. Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial. **Revista FAE**, vol.7, n.1, 2004.
- FERNANDO, Y.; HOR, W. L. Impacts of energy management practices on energy efficiency and carbon emissions reduction: a survey of Malaysian manufacturing firms. **Resources, Conservation and Recycling**, v.126, p.62-73, 2017.
- FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão & Produção**, v.17, p.421-431, 2010.

- FERREIRA, J. J. Indicadores de Eficiência Energética (Portugal): Projeto SAVE. ENR “Cross Country Comparison on Energy Efficiency Indicators, 1995.
- FERREIRA, J.J.; FERREIRA, T.J. Economia e Gestão da Energia. Lisboa: Texto Editora, 1994.
- FINEP – FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. Termos e Conceitos. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/empresa/conceitos_ct.asp?>. Acesso em: 24/02/2021.
- FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Energia Elétrica: Custo e qualidade para a competitividade da indústria nacional. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/firjan/empresas/competitividade-empresarial/temas-em-destaque/energiaeletrica/custo/default-7.htm>>. Acesso em: 10/08/2021.
- FITZGERALD, L.; JOHNSTON, R.; BRIGNALL, T. J.; SILVESTRO, R.; VOSS, C. Desempenho Medição em empresas de serviços. The Chartered Institute of Management Accountants, Londres. 1991.
- FLEITER, T.; HIRZEL, S.; WORRELL, E. The characteristics of energy-efficiency measures—a neglected dimension. **Energy Policy**, v.51, p.502-513, 2012.
- FOSSA, A. J.; SGARB, F. D. A. Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001, Gestão de Energia. International Copper Association Brazil - Cu, 2015.
- FOSSA, A. J.; SGARBI, F. A. Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 Gestão de Energia. **International Copper Association (ICA)**, 2017.
- FOSSATTI, E. C.; MOZZATO, A. R.; MORETTO, C. F. O uso da revisão integrativa na administração: um método possível?. **Revista Eletrônica Científica do CRA-PR-RECC**, v.6, n.1, p.55-72, 2019.
- FRANCIOSI, C.; IUNG, B.; MIRANDA, S.; RIEMMA, S. Maintenance for sustainability in the industry 4.0 context: A scoping literature review. **IFAC-PapersOnLine**, v.51, n.11, p.903-908, 2018.
- FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. **Technology, Organizations and Innovation: Theories, concepts and paradigms**, p. 38-66, 1988.
- FROZZA, J.; LAFAY, J.; BALDIN, V.; MARANGONI, F. Metodologia de implantação de um sistema de gestão de energia utilizando ABNT NBR ISO 50001. In: VIII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. p.1-28, 2012.
- GADONNEIX, P.; DE CASTRO, F. B.; DE MEDEIROS, N. F.; DROUIN, R.; JAIN, C. P.; KIM, Y. D.; ...; FREI, C. Energy Efficiency: A recipe for success. **World Energy Council**, 2010.
- GAMTESSA, S.; OLANI, A. B. Energy price, energy efficiency, and capital productivity: Empirical investigations and policy implications. **Energy Economics**, v. 72, p. 650-666, 2018.
- GASPARINI, L. V. L. Análise das interações de indicadores econômicos, ambientais e sociais para o desenvolvimento sustentável. 2003. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade: Uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Instituto Nacional de Eficiência Energética, Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.
- GHALAYINI, A. M.; NOBLE, J. S.; CROWE, T. J. An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v.48, n.3, p.207-225, Feb. 1997.

- GIELEN, D.; TAYLOR, P. Indicators for industrial energy efficiency in India. **Energy**, v.34, n.8, p.962-969, 2009.
- GONG, S.; SHAO, C.; ZHU, L. Energy efficiency optimization of ethylene production process with respect to a novel FLPEM-based material-product nexus. **International Journal of Energy Research**, v.43, n.8, p.3528-3549, 2019a.
- GONG, S.; SHAO, C.; ZHU, L. Multi-level and multi-granularity energy efficiency diagnosis scheme for ethylene production process. **Energy**, v.170, p.1151-1169, 2019b.
- GONÇALVES, L. C.; GASPAR, P. D. Energia, Entropia, Exergia–Conceitos úteis e eficiências. International Conference on Engineering - University of Beira Interior (ICEUBI 2011).
- GOTTSCHALK, C. M. **Industrial energy conservation. Paris, França: CMG International Energy Consultancy**, 1999.
- GRAS, R.; BENOIT, M.; DEFFONTAINES, J. P.; DURU, M.; LAFARGE, M.; LANGLET, A.; OSTY, P. L. Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude, INRA/L'Harmattan, Coll. **Alternatives rurales**, Paris, 1989.
- GUO, Y.; DUFLOU, J. R.; DENG, Y.; LAUWERS, B. A life cycle energy analysis integrated process-planning approach to foster the sustainability of discrete part manufacturing. **Energy**, v.153, p.604-617, 2018.
- HAIDER, S.; BHAT, J. A. Inter-state analysis of energy efficiency-a stochastic frontier approach to the Indian paper industry. **International Journal of Energy Sector Management**, Vol.12, n.4, p.547-565, 2018.
- HAN, Z.; GUO, S. Investigation of operation strategy of combined cooling, heating and power (CCHP) system based on advanced adiabatic compressed air energy storage. **Energy**, v.160, p.290-308, 2018.
- HENRIQUES, J.; CATARINO, J. Sustainable value and cleaner production – research and application in 19 Portuguese SME. **Journal of Cleaner Production**, v.96, p.379-386, 2015.
- HERNANDES, J. S.; MARTINS, M. I. Categorização de questões de Física do Novo Enem. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.30, n.1, p.58-83, 2013.
- HERNANDEZ, A. G.; COOPER-SEARLE, S.; SKELTON, A. C.; CULLEN, J. M. Leveraging material efficiency as an energy and climate instrument for heavy industries in the EU. **Energy Policy**, v.120, p.533-549, 2018.
- HEYLEN, E.; DECONINCK, G.; VAN HERTEM, D. Review and classification of reliability indicators for power systems with a high share of renewable energy sources. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.97, p.554-568, 2018.
- HIBINO, H.; HORIKAWA, T.; YAMAGUCHI, M. A study on lot-size dependence of the energy consumption per unit of production throughput concerning variable lot-size. **Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing**, v.13, n.3, p. JAMDSM0062-JAMDSM0062, 2019.
- HOANG, A.; PHUC, D. O.; BENOÎT, I. U. N. G.; LEVRAT, E.; VOISIN, A. Prognostics and energy efficiency: survey and investigations. In: PHM SOCIETY EUROPEAN CONFERENCE, v.2, n.1, 2014.
- HOANG, A.; DO, P.; IUNG, B. Energy efficiency performance-based prognostics for aided maintenance decision-making: Application to a manufacturing platform. **Journal of Cleaner Production**, v.142, p.2838-2857, 2017.
- HOCHMAN, G.; TIMILSINA, G.R. Energy efficiency barriers in commercial and industrial firms in Ukraine: An empirical analysis. **Energy Economics**, v.63, p.22-30, 2017.

- HOLDEN, E.; LINNERUD, K.; BANISTER, D. Sustainable development: Our common future revisited. **Global environmental change**, v.26, p.130-139, 2014.
- HONMA, S.; HU, J. L. Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis. **Applied energy**, v.119, p.67-78, 2014.
- HRONEC, S. M. *Sinais Vitais*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- HRONEC, S. M. **Sinais vitais: usando medidas do desempenho da qualidade, tempo e custo para traçar a rota para o futuro de sua empresa**. Makron Books. 240 p.1994.
- HUANG, E. G. T. Entendendo os requisitos da certificação de sistemas de gestão da energia. **Energia e Sustentabilidade SGS**, 2011.
- IEA – International Energy Agency. *World Energy Outlook 2015*.
- IEA – International Energy Agency. **Energy efficiency indicators: Essentials for policy making**, 2014.
- IEA – International Energy Agency. *Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlook to 2040*. **OECD Publishing**, 2018.
- IEA – International Energy Agency. *Energy Management Programmes for Industry*. OECD/IEA, Paris, France and the Institute for Industrial Productivity, Washington, USA, 2012.
- IEA. **Key World Energy Statistics 2007**. OECD/IEA, 2007.
- INDICATORS, E. E. *Energy Efficiency Indicators: Essentials for policymaking*. International Energy Agency, p.1-162, 2014.
- INGARAO, G. Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use: the role of metal shaping processes. **Journal of Cleaner Production**, v.142, p.2872-2886, 2017.
- IRREK, W.; THOMAS, S. **Der Energie Spar Fonds für Deutschland**. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2006.
- ISO 11.620: Information and documentation: library performance indicators. Genebra, 1998.
- ISO 11.620: Information and documentation: library performance indicators. Genebra, 2003.
- ISO 11620:1998. International For Organization Standardization. Information et Documentation - Indicateurs de performance des bibliothèques. Genebra: ISO, 1998.
- JACOB, E. Classification and categorization: a difference that makes a difference. **Library trends**, v.52, n.3, p.515-540, 2004.
- JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. Planejamento integrado de recursos energéticos: Meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis. In: Planejamento integrado de recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis. p. 246-246,1997.
- Jl, Q.; LI, C.; ZHU, D.; JIN, Y.; LV, Y.; HE, J. Structural design optimization of moving component in CNC machine tool for energy saving. *Journal of Cleaner Production*, v.246, p.118976, 2020.
- JIA, J.; JIAN, H.; XIE, D.; GU, Z.; CHEN, C. Multi-scale decomposition of energy-related industrial carbon emission by an extended logarithmic mean Divisia index: a case study of Jiangxi, China. **Energy Efficiency**, v.12, n.8, p. 2161-2186, 2019.
- JOHANSSON, M. T.; THOLLANDER, P. A review of barriers to and driving forces for improved energy efficiency in Swedish industry—Recommendations for successful in-house energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.82, p.618-628, 2018.

- JOVANOVIĆ, B.; FILIPOVIĆ, J.; BAKIĆ, V. Energy management system implementation in Serbian manufacturing—Plan-Do-Check-Act cycle approach. **Journal of Cleaner Production**, v.162, p.1144-1156, 2017.
- JULIO, E.; SANTOS, K.; MORAIS, S.; NETO, A. F. Estruturação de aplicação da análise de conteúdo. *Revista Ciências Exatas*, v.23, n.2, p.19-29, 2017.
- JUNIOR, A. P. M.; NETTO, O. de M. C.; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, N. Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil-Resultados de um painel de especialistas. **Rev Bras Recur Hídricos**, v.8, p.49-67, 2003.
- KALENOJA, H.; KALLIONPÄÄ, E.; RANTALA, J. Indicators of energy efficiency of supply chains. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, v.14, n.2, p.77-95, 2011.
- KAPLAN, R.; NORTON, D. **The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action**. Harvard Business School Press, Boston, p.43-147. 1996
- KAPUSTIN, N. O.; GRUSHEVENKO, D. A. Exploring the implications of Russian Energy Strategy project for oil refining sector. **Energy Policy**, v.117, p.198-207, 2018.
- KARA, S.; BOGDANSKI, G.; LI, W. Electricity metering and monitoring in manufacturing systems. In: **Glocalized solutions for sustainability in manufacturing**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 1-10.
- KARA, S.; MANMEK, S.; HERRMANN, C. Global manufacturing and the embodied energy of products. **CIRP annals**, v.59, n.1, p.29-32, 2010.
- KARDEC, A.; FLORES, J.; SEIXAS, E. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho**. Rio de Janeiro: Quality mark, p.98, 2005.
- KENNERLEY, M.; NEELY, A. Measuring performance in a changing business environment. **International Journal of Operations & Production Management**, v.23, n.2, p.213-229, 2003.
- KONG, L.; PRICE, L.; HASANBEIGI, A.; LIU, H.; LI, J. Potential for reducing paper mill energy use and carbon dioxide emissions through plant-wide energy audits: a case study in China. **Apple Energy**, v.102, p.1334-1342, 2013.
- KOSTEVŠEK, A.; PETEK, J.; ČUČEK, L.; PIVEC, A. Conceptual design of a municipal energy and environmental system as an efficient basis for advanced energy planning. **Energy**, v.60, p.148-158, 2013.
- KRAHL, I. M. e PINTO, M. A. C. Sustainability indicators based on exergy and its relationship to environmental management. VI Congresso nacional de excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2010.
- KUSTERKO, S. K. Uso de indicadores de desempenho como auxílio nos estudos de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água. 2009. 79f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- LACERDA, R. T. D. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v.19, p.59-78, 2012.
- LANTELME, E. M. V. A utilização de indicadores na avaliação e melhoria do desempenho de processos da construção de edificações: uma abordagem com base em princípios da aprendizagem organizacional. Porto Alegre: Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

- LAPILLONNE, B. Definition of energy efficiency index ODEX in ODYSSEE database. Grant agreement n° 847082. Monitoring EU energy efficiency first principle and policy implementation – ODYSSEE MURE. 2020. Disponível em: <<https://www.indicators.odyssee-mure.eu/odex-indicators-database-definition.pdf>>
- LARA, P.; SÁNCHEZ, M.; VILLALOBOS, J. Enterprise modeling and operational technologies (OT) application in the oil and gas industry. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 19, p. 100160, 2020.
- LEITE, T. A. P. Diagnóstico energético de um terminal portuário localizado em Itajaí-SC com base na NBR ISO 50001: 2011. In: IX Simpósio internacional de qualidade ambiental. 2015.
- LEMO, I. P.; ROSA, R. H.; JÚNIOR, W. M. P. A Percepção dos Estudantes do Curso Técnico do IFTM Sobre o Consumo de Energia Residencial. In: Mostra de Trab. do IFTM – Campus Uberlândia. v. 1, p. 1-109, 2016.
- LI, M. J.; TAO, W. Q. Review of methodologies and policies for evaluation of energy efficiency in a high energy-consuming industry. *Applied Energy*, v. 187, p. 203-215, 2017.
- LIAO, H.; DU, Y. F.; HUANG, Z.; WEI, Y. M. Measuring energy economic efficiency: A mathematical programming approach. *Applied Energy*, v.179, p.479-487, 2016.
- LIMA, G. Â. B. de O. Modelos de categorização: apresentando o modelo clássico e o modelo de protótipos. *Perspectivas em ciência da informação*, v. 15, n. 2, p. 108-122, 2010.
- LIMA, T. C. S. D.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Revista Katálisis*, v.10, n.SPE, p.37-45, 2007.
- LINDBERG, C. F.; TAN, S.; YAN, J.; STARFELT, F. Key performance indicators improve industrial performance. *Energy procedia*, v.75, p.1785-1790, 2015.
- LIU, C.; CAI, W.; JIA, S.; ZHANG, M.; GUO, H.; HU, L.; JIANG, Z. Energy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance. *Energy conversion and management*, v.177, p.176-189, 2018
- LIU, J., LI, Q.; WANG, F.; ZHOU, L. A new model of screw compressor for refrigeration system simulation. *International journal of refrigeration*, v.35, n.4, p.861-870, 2012.
- LOVINS, A.B., 2004. **Energy efficiency: taxonomic overview.** In: **Cleveland, J.C. (Ed.), Encyclopedia of Energy.** Elsevier, Amsterdam, p.383–401.
- LYNCH, R.L. E CROSS, K.F. Measure up the essential guide to measuring business performance. London: Mandarin. 1991.
- MACHADO, C. J.; HILL, K. Probabilistic record linkage and an automated procedure to minimize the undecided-matched pair problem. *Cadernos de saúde pública*, v.20, p.915-925, 2004.
- MAHAPATRA, K.; ALM, R.; HALLGREN, R.; BISCHOFF, L.; TUGLU, N.; KUAI, L.; ...; UMORU, I. A behavioral change-based approach to energy efficiency in a manufacturing plant. *Energy Efficiency*, v.11, n.5, p.1103-1116, 2018.
- MAHLIA, T. M. I. Methodology for predicting market transformation due to implementation of energy efficiency standards and labels. *Energy conversion and management*, v.45, n.11-12, p.1785-1793, 2004.
- MANGLA, S. K.; LUTHRA, S.; JAKHAR, S.; GANDHI, S.; MUDULI, K.; KUMAR, A. A step to clean energy – Sustainability in energy system management in an emerging economy context. *Journal of Cleaner Production*, v.242, p.118462, 2020.
- MARSHALL, M. N., SHEKELLE, P. G., MCGLYNN, E. A., CAMPBELL, S., BROOK, R.

- H., & ROLAND, M. O. (2003). Can health care quality indicators be transferred between countries? **BMJ Quality & Safety**, v.12, n.1, p.8-12, 2003.
- MARTIN, R.; MUÛLS, M.; DE PREUX, L.B.; WAGNER, U.J. Anatomy of a paradox: management practices, organizational structure and energy efficiency. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.63, n.2, p.208-223, 2012.
- MAY, G.; BARLETTA, I.; STAHL, B.; TAISCH, M. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. **Applied Energy**, v.149, p.46-61, 2015.
- MAY, G.; TAISCH, M.; PRABHU, V. V.; BARLETTA, I. Energy related key performance indicators—state of the art, gaps and industrial needs. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Berlin, Heidelberg. p.257-267, 2013.
- MCKANE, A.; PRICE, L.; DE LA RUE DU CAN, S. Policies for Promoting Industrial Energy Efficiency in Developing Countries and Transition Economies. Berkeley: UNIDO, 2007.
- MEIRELES, M. R. G.; CENDÓN, B. V. Categorização e Classificação de documentos a partir de suas citações: uma proposta baseada em Redes Neurais Artificiais. **Data Grama Zero (Rio de Janeiro)**, v.12, p.2, 2011.
- MERCHÁN-HAMANN, E.; TAUILL, P. L.; COSTA, M. P. Terminologia das medidas e indicadores em Epidemiologia: subsídios para uma possível padronização da nomenclatura. **Informe Epidemiológico do SUS**, v.9, n.4, p.273-285, out. /dez., 2000.
- MERRIAM, S. B. **Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and expanded from " Case Study Research in Education"**. Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104, 1998.
- MESHCHERYAKOVA, T.; TKACHEVA, E.; KABANOVA, D. Energy efficiency of industrial facilities as a factor of sustainable development of the country's economy. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, p. 03004, 2018.
- MICHAELLIS. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, Editora Melhoramentos Ltda., 2015. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>>. Acessado em: 10/02/2021.
- MKWANANZI, T.; MANDEGARI, M.; GÖRGENS, J. F. Disturbance modelling through steady-state value deviations: The determination of suitable energy indicators and parameters for energy consumption monitoring in a typical sugar mill. **Energy**, v.176, p.211-223, 2019.
- MORABITO, G. F. **Proposição de indicadores para avaliar e mensurar a eficiência das subestações de um Microgrid**. 2017.
- MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v.22, n.37, p.7-32, 1999.
- MORALES, C. Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo. 2007, 101f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (USP), departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, São Paulo, 2007.
- MOREIRA, E. Proposta de uma sistemática para o alinhamento das ações operacionais aos objetivos estratégicos, em uma gestão orientada por indicadores de desempenho. 2002.
- MOREJÓN, M. B.; ERAS, J. J. C.; GUTIERREZ, A. S.; SANTOS, V. S.; GOMEZ, Y. P.; BAYONA, J. G. R. Factors affecting the electricity consumption and productivity of the lead acid battery formation process. The case of a battery plant in Colombia. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v.9, n.5, p.103, 2019.

- MOURA, L. G. V. Indicadores para a avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção da agricultura familiar: o caso dos fumicultores de Agudo – RS, 2002, p.232. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, 2002.
- MOUSAVI, S.; KARA, S.; KORNFELD, B. Energy efficiency of compressed air systems. **Procedia Cirp**, v.15, p.313-318, 2014.
- MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v.15, n.4, p.731-747, 2011.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L.; GELDERS, L.; MARTIN, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, v.131, n.1, p.295-302, 2011.
- MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**. Brasília 1997.
- NAVARRO, G. P. Proposta de sistema de indicadores de desempenho para a gestão da produção em empreendimentos de edificações residenciais, 2005. Trabalho de conclusão (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, RS, 2005.
- NEELY, A. **Measuring Business Performance**. **Economist Books**. London, 1998.
- NEHLER, T.; RASMUSSEN, J. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry. **Journal of Cleaner Production**, v.113, p.472-482, 2016.
- NIEDERAUER, C. A. P. Avaliação dos bolsistas de produtividade em pesquisa da engenharia de produção utilizando Data Envelopment Analysis. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. 1998.
- NILSSON, L. **Cleaner production: technologies and tools for resource efficient production**. Baltic University Press, v. 2, 2007.
- NOGUEIRA, L. A. H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**, v.21, n.59, p.91-105, 2007.
- NUDURUPATI, S. S.; BITITCI, U. S.; KUMAR, V.; CHAN, F.T.S. State of the art literature review on performance measurement. **Computer & Industrial Engineering, Amsterdam**, v.60, n.2, p.279-290, 2011.
- OECD – Organization for Economic Co-Operation and Development environmental indicators 2001. Disponível em: <<https://www.oecd.org/site/worldforum/33703867.pdf>>. Acesso em: 19/03/2021.
- OECD – Organization for Economic Co-Operation and Development. Guidance on safety performance indicators: guidance for industry, public authorities and communities for developing SPI programmes related to chemical accident prevention, preparedness and response. Paris: OEDC, 2003.
- OECD – Guidance on developing safety performance indicators related to chemical accident prevention, preparedness and response for public authorities and communities/public; 2008.
- OKEREKE, C. An exploration of motivations, drivers and barriers to carbon management: The uk ftse 100. **European Management Journal**, v.25, n.6, p.475-486, 2007.
- OLIVEIRA, M.; FREITAS, H. Seleção de indicadores para tomada de decisão: a percepção dos principais intervenientes na construção civil. **READ: Revista Eletrônica de**

Administração, Porto Alegre, v.7, n.1, mar. 2000.

OLIVEIRA, M.; LANTELME, E.M.V.; FORMOSO, C.T. **Sistema de indicadores de qualidade e produtividade na construção civil: manual de utilização**. Porto Alegre: SEBRAE, 1995.

ORTEGA, Enrique. Aplicação do Conceito de Emergia na Contabilidade de Gestão Ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 17, 2010, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABCustos, 2010. p. 1 - 15.

OUYANG, X.; LIN, B. An analysis of the driving forces of energy-related carbon dioxide emissions in China's industrial sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.45, p.838-849, 2015.

ÖZKARA, Y.; ATAĞ, M. Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of the manufacturing industry in Turkey. **Energy**, v.93, p.495-510, 2015.

PALM, J.; THOLLANDER, P. An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency. **Applied Energy**, v.87, n.10, p.3255-3261, 2010.

PAPETTI, A., MENGHI, R., DI DOMIZIO, G., GERMANI, M. E MARCONI, M. Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems. **Applied Energy**, v.249, p.326-342, 2019.

PATEL, M. Cumulative energy demand (CED) and cumulative CO2 emissions for products of the organic chemical industry. **Energy**, v.28, n.7, p.721-740, 2003.

PATLITZIANAS, K. D.; DOUKAS, H.; KAGIANNAS, A. G.; PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations. **Renewable Energy**, v.33, n.5, p.966-973, 2008.

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, v.24, n.5, p.377-390, 1996.

PELSER, W. A.; VOSLOO, J. C.; MATHEWS, M. J. Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant. **Journal of Cleaner Production**, v.198, p.642-653, 2018.

PENG, L.; ZENG, X.; WANG, Y.; HONG, G. B. Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry. **Energy Policy**, v.80, p.65-75, 2015.

PERRONI, M. G.; DA COSTA, S. E. G.; DE LIMA, E. P.; DA SILVA, W. V.; TORTATO, U. Measuring energy performance: A process-based approach. **Applied Energy**, v. 222, p. 540-553, 2018.

PHYLIPSEN, G. J. M.; BLOK, K.; WORRELL, E. International comparisons of energy efficiency - Methodologies for the manufacturing industry. **Energy policy**, v.25, n.7-9, p.715-725, 1997.

PNEf. Plano Nacional de Eficiência Energética. 2011. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 15/04/2021.

POLIDORO, H. A. **Seleção de indicadores de desenvolvimentos sustentável para indústrias do setor siderúrgico**. 2000.

POSCH, A.; BRUDERMANN, T.; BRASCHEL, N.; GABRIEL, M. Strategic Energy Management in Energy-Intensive Enterprises: A Quantitative Analysis of Relevant Factors in the Austrian Paper and Pulp Industry. **Journal of Cleaner Production**, v.90, p.291-299, 2015.

PRASHAR, A. Towards sustainable development in industrial small and Medium-sized Enterprises: An energy sustainability approach. **Journal of Cleaner Production**, v.235, p.977-996, 2019.

- PROSKURYAKOVA, L. Updating energy security and environmental policy: Energy security theories revisited. **Journal of environmental management**, v.223, p.203-214, 2018.
- PUSNIK, M.; AL-MANSOUR, F.; SUCIC, B.; CESEN, M. Trends and prospects of energy efficiency development in Slovenian industry. **Energy**, v.136, p.52-62, 2017.
- PYE, M., MCKANE, A. Making a stronger case for industrial energy efficiency by quantifying non-energy benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v.28, n.3-4, p.171-183, 2000.
- RAHIMIFARD, S.; SEOW, Y.; CHILDS, T. Minimising Embodied Product Energy to support energy efficient manufacturing. **CIRP annals**, v.59, n.1, p.25-28, 2010.
- REIS, L. B. D. **Geração de energia elétrica**. Editora Manole, 2015.
- RIBEIRO, B. D. O. G.; ALVES E SILVA, K. Indicador de eficiência energética para auxiliar a tomada de decisão de investimento em projetos de eficiência energética em instituições de ensino. 2018, 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- ROCHA, A. D. Construção e Análise de Indicadores. Serviço Social da Indústria. **Departamento Regional do Estado do Paraná. Observatório Regional Base de Indicadores de Sustentabilidade**. Curitiba, 2010.
- ROCHA, A. Seleção de indicadores de eficiência da competitividade industrial brasileira. 2014,150f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Paulista, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, São Paulo, 2014.
- ROHDIN, P.; THOLLANDER, P. Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. **Energy**, v.31, n.12, p.1836-1844, 2006.
- ROMANELLI, T. L. Sustentabilidade energética de um sistema de produção da cultura de eucalipto. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Tese de Doutorado, 2007.
- ROZADOS, H. B. F. Uso de indicadores na gestão de recursos de informação. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v.3, n.2, p.60-76, 2005.
- SAGASTUME, A.; CABELLO, J. J.; SOUSA, V.; HERNÁNDEZ, H.; HENS, L.; VANDECASTEELE, C. Electricity management in the production of lead-acid batteries: The industrial case of a production plant in Colombia. *Journal of cleaner production*, v.198, p.1443-1458, 2018.
- SAIDEL, M. A.; FAVATO, L. B.; MORALES, C. Indicadores energéticos e ambientais: Ferramenta importante na gestão da energia elétrica. In: Congresso Brasileiro De Eficiência Energética. 2005.
- SALVADOR, A. D. **Métodos e técnicas de pesquisa bibliográfica**. Porto Alegre: Sulina, 1986.
- SANTOS, E. P. d. Avaliação de eficiência energética em instalação elétrica industrial. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2015.
- SANTOS, F. M. T. d.; GRECA, I. M. Metodologias de pesquisa no ensino de ciências na América Latina: como pesquisamos na década de 2000. **Ciência & Educação (Bauru)**, v.19, n.1, p.15-33, 2013.
- SARDIANOU, E. Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n.13, p.1416-1423, 2008.
- SATHAYE, J. **Energy efficiency indicators methodology booklet**. 2010.

- SBARDELOTTO, L. Proposta de indicadores de eficiência energética para um campus universitário, 2018. 68f. Trabalho de conclusão (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2018.
- SCHMIDT, C.; LI, W.; THIEDE, S.; KORNFELD, B.; KARA, S.; HERRMANN, C. Implementing key performance indicators for energy efficiency in manufacturing. **Procedia Cirp**, v. 57, p. 758-763, 2016.
- SCHIPPER, L.; UNANDER, F.; MURTISHAW, S.; TING, M. Indicators of energy use and carbon emissions: explaining the energy economy link. **Annual Review of Energy and the Environment**, v.26, n.1, p.49-81, 2001.
- SCHIRMER, F. Comparação de Indicadores de Eficiência Energética e Exergética em Duas Indústrias do Setor Sucroalcooleiro. 2006. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, 2006.
- SCHULZE, M.; NEHLER, H.; OTTOSSON, M.; THOLLANDER, P. Energy management in industry—a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of cleaner production**, v.112, p.3692-3708, 2016.
- SHARUDDIN, S. D. A.; ABNISA, F.; DAUD, W. M. A. W.; AROUA, M. K. A review on pyrolysis of plastic wastes. **Energy conversion and management**, v.115, p.308-326, 2016.
- SHAVARINI, S. K.; SALIMIAN, H.; NAZEMI, J.; ALBORZI, M. Operations strategy and business strategy alignment model (case of Iranian industries). **International Journal of Operations & Production Management**, v.33, n.9, p.1108-1130, 2013.
- SHROUF, F.; GONG, B.; ORDIERES-MERÉ, J. Multi-level awareness of energy used in production processes. **Journal of cleaner production**, v.142, p.2570-2585, 2017.
- SILVA, A. H.; FOSSÁ, M. I. T. Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 6, n.1, 2015
- SILVA, V. P. D. Análise da eficiência energética em uma indústria têxtil: um estudo de caso relacionado a perdas e produtividade. João Pessoa. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. **Planejamento e medição para a performance**. Rio de Janeiro: Quality mark, 1993.
- SIKSNELYTE, I.; ZAVADSKAS, E. K.; BAUSYS, R.; STREIMIKIENE, D. Implementation of EU energy policy priorities in the Baltic Sea Region countries: Sustainability assessment based on neutrosophic MULTIMOORA method. **Energy policy**, v.125, p.90-102, 2019.
- SNIS - Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2006. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2007/DiagRS2007_A4.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2020.
- SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. M. Influencing factors on energy management in industries. **Journal of Cleaner Production**, v.248, p.119263, 2020.
- SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. de M. Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais. **Production**, v.25, n.3, p.498-509, 2015.
- STUDNICKI, J.; MURPHY, F.V.; MALVEY, D.; COSTELLO, R.A.; LUTHER, S. L.; WERNER, D. C. Rumo a um sistema de entrega de saúde à população: primeiros passos na medição de desempenho. **Health Care Management Review**, v.27, n.1, p.76-95, 2002.
- SUTTER, É. Documentation, information, connaissances: la gestion de la qualité. Association des professionnels de l'information et de la documentation, v.267, 2002.

SZYMANSKI, H. **A entrevista na pesquisa em educação: a prática reflexiva**. Brasília: Líber, 2004.

TANAKA, K. Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. **Energy policy**, v.36, n.8, p.2887-2902, 2008.

TANTISATTAYAKUL, T.; SOONTHAROTHAI, J.; LIMPHITAKPHONG, N.; PHARINO, C.; CHAVALPARIT, O.; KANCHANAPIYA, P. Assessment of energy efficiency measures in the petrochemical industry in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v.137, p.931-941, 2016.

TAVARES, F. V.; MONTEIRO, L. Indicadores de Eficiência Energética na Indústria de Fertilizantes de Amônia. **Sistemas & Gestão**, v.9, n.2, p.216-223, 2014.

TAVARES, F. V.; MONTEIRO, L. P. C. Uso de Indicadores de Eficiência Energética em Plantas de Produção de Amônia. **Engevista**, v.15, n.3, 2013.

TEIXEIRA, E. B. A análise de dados na pesquisa científica: importância e desafios em estudos organizacionais. **Desenvolvimento em questão**, v.1, n.2, p.177-201, 2003.

TEZZA, R.; BORNIA, A. C.; VEY, I. H. Sistemas de medição de desempenho: uma revisão e classificação da literatura. **Gestão & Produção**, v.17, n.1, p.75-93, 2010.

TINDEMANS, S. H.; BHAVARAJU, M.; LAUBY, M.; LI, W.; PAPIC, M.; PRATT, D., ...; SCHNEIDER, A. 859-2018 – IEEE Standard Terms for Reporting and Analyzing Outage Occurrences and Outage States of Electrical Transmission Facilities. 2019.

TIRONI, L. F.; SILVA, L. C. E.; VIANNA, S. M.; MÉDICI, A. C. Critérios para geração de indicadores de qualidade e produtividade no serviço público. Brasília: IPEA, p.18, 1991.

TOWSLEE, J. S. Energy Management Key Performance Indicators (EnPIs) and Energy Dashboards. **Energy Management and Efficiency for the Process Industries**, p. 349, 2015.

TRIANNI, A.; CAGNO, E.; FARNÉ, S. Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. **Applied Energy**, v.162, p.1537-1551, 2016.

TRISTÃO, A. M. D.; FACHIN, G. R. B.; ALARCON, O. E. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento. **Ciência da Informação**, v.33, p.161-171, 2004.

TUO, J.; LIU, F.; LIU, P.; ZHANG, H.; CAI, W. Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual parts. **Energy**, v.159, p.172-183, 2018.

VELASCO-FERNÁNDEZ, R.; DUNLOP, T.; GIAMPIETRO, M. Fallacies of energy efficiency indicators: Recognizing the complexity of the metabolic pattern of the economy. **Energy Policy**, v.137, p.111089, 2020.

VIKHOREV, K.; GREENOUGH, R.; BROWN, N. An advanced energy management framework to promote energy awareness. **Journal of Cleaner Production**, v.43, p.103-112, 2013.

VOIGT, K. I. **Industrielles Management**. Springer, Berlim, 2008.

VOSGERAU, D. S. R.; POCRIFKA, D. H.; SIMONIAN, M. Etapas da análise de conteúdo complementadas por ciclos de codificação: possibilidades a partir do uso de software de análise qualitativa de dados. **CIAIQ2016**, v.1, 2016.

WANG, G.; WANG, Y.; ZHAO, T. Analysis of interactions among the barriers to energy saving in China. **Energy Policy**, v.36, n.6, p.1879-1889, 2008.

WANG, K.; WEI, Y. M. Sources of energy productivity change in China during 1997–2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity indicator. **Energy**

Economics, v.54, p.50-59, 2016.

WANG, Q.; MA, Y.; LI, S.; YUE, C.; HE, L. Expanding exergy analysis for the sustainability assessment of SJ-type oil shale retorting process. **Energy Conversion and Management**, v.187, p.29-40, 2019.

WANG, W.; YANG, H.; ZHANG, Y.; XU, J. IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.31, n.4-5, p.362-379, 2018.

WANG, Y.; JIN, X.; FANG, X. Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis. **Energy and Buildings**, v.134, p.162-170, 2017.

WEBER, L. Some reflections on barriers to the efficient use of energy. **Energy policy**, v.25, n.10, p.833-835, 1997.

WEC. World Energy Council. **Energia e políticas e indicadores de deficiências**. Londres: World Energy Council: 2006.

WEN, Z.; WANG, Y.; ZHANG, C.; ZHANG, X. Uncertainty analysis of industrial energy conservation management in China's iron and steel industry. **Journal of environmental management**, v.225, p.205-214, 2018.

WILSON, J.; AROKIAM, A.; BELAIDI, H.; LADBROOK, J. A simple energy usage toolkit from manufacturing simulation data. **Journal of Cleaner Production**, v.122, p.266-276, 2016.

WORRELL, E.; BERNSTEIN, L.; ROY, J.; PRICE, L.; HARNISCH, J. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. **Energy efficiency**, v.2, n.2, p.109, 2009.

WORRELL, E.; PRICE, L.; MARTIN, N.; FARLA, J.; SCHAEFFER, R. Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators. **Energy policy**, v.25, n.7-9, p.727-744, 1997.

WORRELL, E.; LAITNER, J. A.; RUTH, M.; FINMAN, H. Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. **Energy**, v.28, n.11, p.1081-1098, 2003.

YEUNG, A. C.L.; LAI, K.; YEE, R. W. Y. Organizational learning, innovativeness, and organizational performance: a qualitative investigation. **International journal of production research**, v.45, n.11, p.2459-2477, 2007.

ZHAI, Y.; WANG, H.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J. W. Dynamic Manufacturing Scheduling Under Real-Time Electricity Pricing Based on MILP and ARIMA. In: ASME 2017 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the JSME/ASME 2017 6th International Conference on Materials and Processing. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2017.

ZHANG, Y.; MA, S.; YANG, H.; LV, J.; LIU, Y. A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 57-72, 2018.

ZHOU, L.; LI, J.; LI, F.; MENG, Q.; LI, J.; XU, X. Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.3721-3734, 2016.

ZILBER, M. A.; FISCHMANN, A. A. Competitividade e a importância de indicadores de desempenho: utilização de um modelo de tendência. In: Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, v.26, p.2002, 2002.

YIN, R.K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE A – Artigo de revisão sistemática

Energy Efficiency in Industrial Environments: An Updated Review and a New Research Agenda

K. Guedes, N. H. M. Cordeiro, G. S. Lima, F. C. Fenerich, A. L. G. Oliveira

Abstract — Nowadays, discussions about the use of energy efficiency in industries have intensified due to the need to optimize the resources used, especially the high cost in the production process. In this context, a literature review and a research agenda on energy efficiency in industrial environments can assist in the search for solutions and challenges to reduce energy consumption in manufacturing, as well as identify future trends for the topic. Therefore, this article proposes to update the energy efficiency research agenda in industrial environments, through a systematic review of the literature, between the years 2015 and 2020, in search of articles published in journals with current practices and the new strategies used in energy management. For the review of the research agenda, one hundred and eighty-five articles were selected, which were read and used in the bibliometric analysis, which was compared to the results obtained and observed in the base article [1] for this update, thus helping in directing the creation of an agenda for studies and practices in energy efficiency in manufacturing environments.

Index Terms— Energy Efficiency, Research Agenda, Systematic Literature Review.

I. INTRODUÇÃO

A indústria consome grandes quantidades de energia para gerar bens e serviços que movem a sociedade moderna. Para tanto, investimentos em geração, distribuição e transmissão devem ser realizados, de forma que a demanda industrial seja atendida com confiabilidade.

Desta forma, para operação das instalações e equipamentos industriais, se faz necessário uma quantidade significativa de recursos energéticos, no entanto, uma grande parte das instalações industriais não são operadas a uma taxa eficiente, ou desconhecem o real consumo energético, gerando oportunidades para o desenvolvimento de um setor manufatureiro mais eficiente e sustentável energeticamente [2].

Este assunto tem sido amplamente pesquisado, desde meados da década de noventa e mais intensamente a partir 2007 [1]. No entanto, em termos de perdas encontradas durante processos de fabricação, pode-se dizer que no passado eram escassos os trabalhos que tentavam delinear uma estratégia apropriada de mitigação de perda de eficiência em indústrias [2].

K. Guedes, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: karolineguedes13@gmail.com).

N. H. M. Cordeiro, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: nellyhmarques@gmail.com).

G. S. Lima, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: gislaynelimasouza@gmail.com). F. C. Fenerich, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: fcfenerich@uem.br).

A. L. G. Oliveira, Federal University of Paraná, Jandaia do Sul, Paraná, Brazil (e-mail: andre.gazoli@ufpr.br).

Corresponding author: karolineguedes13@gmail.com

E atualmente o perfil da eficiência energética tem aumentado, devido à crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pelo consumo energético, o que influencia diretamente na redução do uso de energia [3].

Embora a eficiência geral de uma planta esteja relacionada à dispositivos de conversão como motores, lâmpadas e sistemas passivos como fornos e sistemas de vapor, também é fortemente influenciado por fatores manufatureiros, como taxas de produção, parâmetros de projeto e configurações de linha [4].

As taxas de produção industrial são fortemente relacionadas à eficiência de um processo de fabricação [5], e segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) apesar da continua demanda por energia no setor, a busca pelo uso de eficiência energética nos últimos anos impediu um aumento ainda maior no uso de energia [6].

Outro incentivo para a implementação de práticas de eficiência energética nas organizações são os benefícios relacionados as questões sociais, ambientais, financeiras e de competitividade [7].

Neste contexto, a eficiência energética busca reduzir o uso de energia ao nível mínimo, mas sem reduzir a qualidade da produção e a lucratividade [8]. Uma das principais barreiras à eficiência energética industrial continua sendo a cultura organizacional em relação ao desenvolvimento sustentável de produtos, pois muitas empresas ainda visualizam os requisitos de eficiência como um problema ao invés de procurar pelo que realmente é: uma chance para alcançar benefícios econômicos e ambientais [2].

Diante do contexto apresentado e afim de alavancar a competitividade em ambientes industriais por meio do desenvolvimento e uso de estratégias produtivas, processos sustentáveis, redução e controle do consumo de energia, e além de difundir as pesquisas na área, o objetivo deste artigo é realizar um estudo bibliométrico e atualizar a agenda de pesquisa de Fenerich et al. [1] para eficiência energética em ambientes industriais. Por meio do estudo bibliométrico foi possível a identificação dos modelos estratégicos e operacionais existentes na literatura relacionados ao tema, indicadores, bem como modelos de eficiência energética.

O artigo está organizado em quatro seções, de forma que na seção II é apresentada a metodologia da revisão sistemática de literatura, na seção III são demonstrados os resultados dos estudos bibliométricos e a atualização da agenda de pesquisa e por fim, a seção IV trata das considerações finais do estudo.

II. METODOLOGIA

A pesquisa possui natureza básica, de abordagem qualitativa [9], devido à realização de etapas de compreensão dos textos

selecionados, assim como a análise bibliométrica. É também uma pesquisa de objetivos exploratórios [9], realizada por meio de pesquisa bibliográfica sistematizada, uma vez que a revisão de literatura visa buscar os conceitos e características apresentadas pelos autores analisados sobre o desempenho energético em ambientes produtivos, por meio do levantamento de estudos e práticas realizadas sobre o tema.

A análise bibliométrica descreve as características do conteúdo científico das publicações, de forma a contribuir com a produção de conhecimento [10]. Na Fig. 1 destacam-se as etapas do processo de revisão sistemática seguido para a busca da literatura pertinente ao tema e a atualização da agenda.

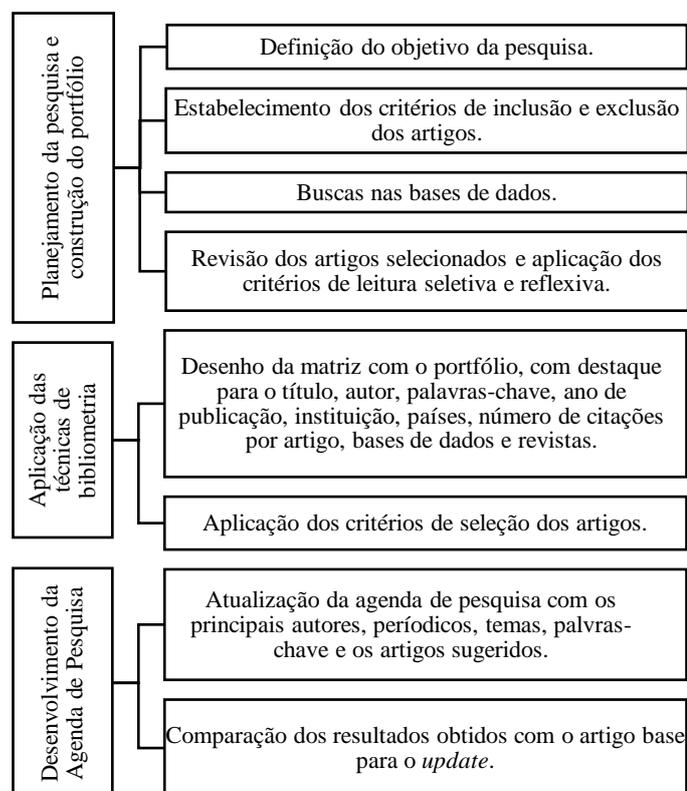


Fig. 1. Processo de revisão sistemática utilizado na busca e análise de material da pesquisa, adaptado de [1].

O processo sistematizado para o desenvolvimento da pesquisa e atualização da revisão sistemática com base no estudo de Fenerich *et al.* [1] foi dividido em três etapas: Planejamento da pesquisa e seleção de artigos para compor o portfólio da pesquisa; a análise bibliométrica do portfólio e, por fim, o desenho da agenda de pesquisa e a comparação dos resultados obtidos com os observados em Fenerich *et al.* [1], por meio dos indicadores bibliométricos.

A construção do portfólio da pesquisa iniciou-se com a definição dos parâmetros de busca para o tema de eficiência energética (EE) em ambientes produtivos, com foco nos estudos que apresentam indicadores, modelos e referências para gestão estratégica e operacional de energia em ambientes industriais; publicações no idioma inglês, cujas fontes principais foram as bases de dados: *Science Direct*, *Emerald*, *Springer*, *IEEE Xplorer*, *ISI Web of Knowledge*, *Scopus* e *Cambridge*.

A seleção se deu por artigos científicos completos publicados em periódicos, limitado ao período de 2015 a 2020

(março de 2020), sendo o recorte temporal baseado na data final das buscas do artigo base [1] para este *update*.

Foram utilizadas as seguintes *strings* de busca: “*strategy AND energy AND efficiency*”; “*strategy AND energy AND operations*”; “*strategy AND energy AND management*”; “*productivity AND management AND energy*” e “*productivity AND indicators AND energy*”, sendo as buscas delineadas por título, palavras-chave e resumo.

Com o intuito de manter a capacidade de análise dos textos e qualidade do material, foram seguidos os mesmos passos de [1], para orientação da leitura [9], partindo da leitura do título, palavras-chave do material bibliográfico, seguido de leitura exploratória, por meio da leitura do resumo do material, com a finalidade de identificar se as informações e/ou dados selecionados são pertinentes ao estudo a ser realizado. O próximo passo foi realizar uma leitura seletiva, por meio da identificação da obra (referência bibliográfica e localização da obra), caracterização (busca do tema central, objetivos, conceitos utilizados e referencial teórico) e definição das contribuições para o presente estudo. A leitura seletiva serviu para orientar sobre quais as publicações que deveriam passar por uma leitura crítica reflexiva, direcionada aos artigos que descreveram indicadores de EE em ambientes produtivos, que utilizam um modelo de referência, que desenvolveram ou adotaram um procedimento para o desenvolvimento dos indicadores de EE, que relataram recomendações sobre o uso dos indicadores de desempenho em ambientes produtivos, além de apresentar modelos estratégicos e/ou operacionais existentes na literatura relacionados à EE em ambientes industriais.

Durante a análise dos artigos, foram extraídas as seguintes informações: palavras-chaves destacadas, ano de publicação, periódico de publicação *versus* quantidade de material selecionado, número de citações de cada artigo selecionado, levantamento dos autores mais citados, número de artigos por autor, temas, instituição e país de estudo, o que permitiu a realização da bibliometria e da atualização da agenda.

Ressalta-se que os termos destacados em negrito no texto são os recorrentes em relação ao estudo de Fenerich *et al.* [1], sendo esta uma forma de mostrar as similaridades encontradas no *update* em relação ao artigo base. O que também evidencia as mudanças nas pesquisas.

No desenvolvimento da pesquisa foi utilizado um *software* de apoio, denominado StArt que é uma ferramenta gratuita, desenvolvida no LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos) [11], o qual permite a construção de um protocolo de pesquisa e facilita o processo de revisão dos artigos, pois ele possibilita a importação da pesquisa feita nas bases de dados, fornecendo as informações de cada publicação como o nome, autores, palavras-chave, periódico, ano e resumo, e ainda o SrArt possibilita que sejam aplicados alguns filtros e sejam realizadas análises.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Análise Bibliométrica

A bibliometria contribui na identificação de padrões históricos, tendências e interesses de pesquisa, resultando em previsões precisas de um campo de pesquisa. A análise bibliométrica é frequentemente utilizada para avaliação da performance em diferentes níveis científicos [12].

As buscas iniciais retornaram em 14.180 artigos, sendo que destes, 7.319 foram descartados por estarem duplicados e outros 6.686, após leitura de títulos e resumo, foram descartados por não se enquadrarem nos critérios de inclusão estabelecidos. Desta forma, foram selecionadas para esta pesquisa 185 publicações das bases estabelecidas sendo que o número de publicações incluídas, são em sua maioria pertencentes às bases *Scopus* e *Web of Science*, considerando que essas foram as primeiras bases em que foram feitas as buscas de material para a pesquisas, visto que possuem uma quantidade maior de arquivos. Ao acrescentar os documentos das demais bases, identificou-se duplicação de arquivos, e o que acarretou na entrada de um número menor documentos das outras bases, como pode ser observado na Fig. 2.

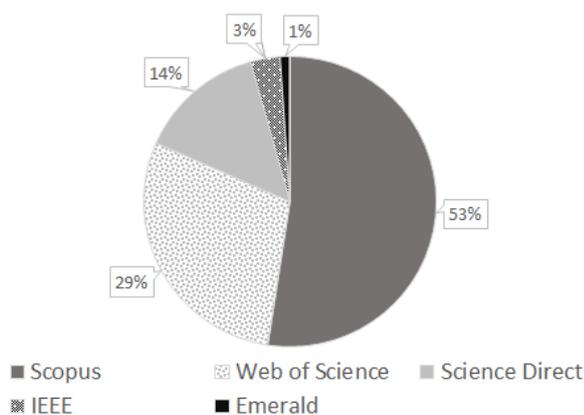


Fig. 2. Classificação de artigos aceitos por base (*Springer* e *Cambridge* com 0%).

Os critérios de exclusão estão relacionados a publicações que não possuem a versão completa disponível, publicações cinzas ou que não atingem o objetivo da pesquisa.

Na Tabela I pode-se observar os critérios utilizados para inclusão de material e a quantidade encontrada em cada um. E como pode ser verificado, grande parte das publicações selecionadas apresentam correlação entre eficiência energética, estratégia e operações.

TABELA I
QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO (I) DO PROTOCOLO DE PESQUISA

CRITÉRIOS	Frequência
(I) Estudos que correlacionam eficiência energética, estratégia ou operação.	122
(I) Estudos que apresentam modelos estratégicos ou operacionais de eficiência energética.	40
(I) Estudos que descrevem indicadores de eficiência energética.	33
(I) Estudos que descrevem práticas e/ou procedimentos para o cálculo de desempenho energético nos sistemas produtivos.	21
(I) Estudos que descrevem indicadores de desempenho produtivos que contemplem o uso de energia.	17
(I) Estudos que descrevem procedimentos adotados para o desenvolvimento de indicadores de eficiência energética.	14

As publicações aceitas foram classificadas em três categorias, algumas dessas foram identificadas em mais de um critério de inclusão (I). A maior parte das publicações foram identificadas como da categoria Estratégia (43,24%), seguida da categoria Práticas (35,14%) e da categoria Indicadores

(24,32%), demonstrando que existem poucas publicações relacionadas à indicadores, mesmo representando uma parte importante do desenvolvimento da EE, pois estimula a prática de controle e gestão energética na redução do consumo e melhor aproveitamento desse recurso.

Após a avaliação dos critérios, buscou-se demonstrar a quantidade de artigos publicados por ano nas bases de dados analisadas no artigo de Fenerich *et al.* [1] (período até 2014) e na atual pesquisa (2015 a 2020). Conforme a Fig. 3, pode-se identificar uma tendência de crescimento de pesquisas relacionadas a partir do ano de 2007, com destaque para o ano de 2019, com 58 publicações sobre o tema, refletindo que o meio acadêmico está em busca de alternativas para que haja uso racional dos recursos energéticos, a fim de propiciar maior eficiência às indústrias, para que o segmento de manufatura possa se manter competitivo no atual cenário econômico e alcance o desenvolvimento sustentável.

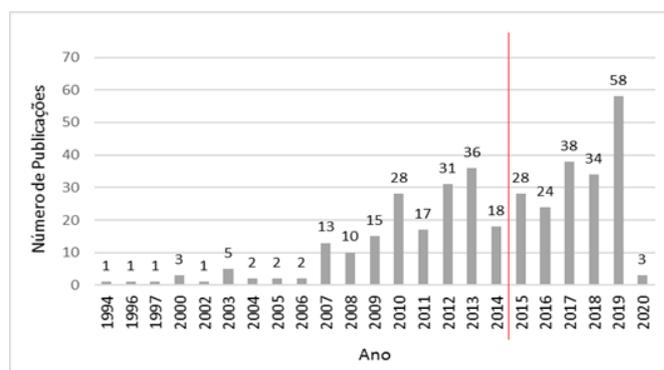


Fig. 3. Número de publicações por ano.

No trabalho realizado por Fenerich *et al.* [1] foram identificadas 186 publicações (1994 a 2014) e no período de 2015 a 2020 foram identificadas 185 publicações, a quantidade de publicações se assemelham, no entanto, em apenas 5 anos e não 10. Considerando-se o período de ambos, verifica-se que entre 2015 e 2020, a média é de 37 publicações por ano, que é 25,13% maior que no período de 1994 a 2014, com média de 11 trabalhos por ano. O que demonstra a crescente exploração sobre o assunto pela busca de melhores condições de produção, com melhor aproveitamento dos recursos com um desenvolvimento sustentável.

Como forma de quantificar os dados, são descritos na literatura índices para a análise bibliométrica [10], a partir da quantidade de publicações por ano (TP), a quantidade de autores nas publicações por ano (AU), o número de vezes que os artigos são citados (NR), além do número médio de autores por artigo (AU/TP) e o número médio de vezes que os artigos são citados (NR/TP). Os referidos índices dos artigos selecionados podem ser visualizados na Tabela II.

Ao observar os indicadores da Tabela II, verifica-se que a relação da quantidade de autores e o número de publicações por ano (AU/TP), indica uma média de 3,5 autores por publicação, um aumento de 52,1% se comparado com a média de 2,3 autores identificada por [1], o que indica um crescente no número de pesquisadores do tema. Já a relação do número de citações e o número de publicações por ano (NR/TP), permite a verificação de que os artigos dos anos de 2015 a 2017 são mais citados, pois é fato que publicações mais recentes tendem a ser menos citadas. Se comparado ao estudo de [1], percebe-se um aumento progressivo no número de publicações

e autores com estudos na área por ano, sendo que em [1], o ano de 2013 apresentou o maior índice em relação a TP (37) e AU (73), o que demonstra um crescimento de 56,7% no número de publicações e de 224,6% no incremento de autores se comparado com o ano de 2019 (ano mais representativo na pesquisa), demonstrando um crescimento significativo de pesquisas e pesquisadores em EE.

TABELA II - CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES EM EE NOS AMBIENTES INDUSTRIAIS DE 2015 A 2020

Ano	TP	AU	NR	AU/TP	NR/TP
2015	28	90	713	3,2	25,5
2016	24	78	583	3,3	24,3
2017	38	128	605	3,4	15,9
2018	34	125	337	3,7	9,9
2019	58	237	277	4,1	4,8
2020	3	13	2	4,3	0,7
Média	36,4	131,6	503,0	3,5	16,1
Média do artigo [1]	11,1	27,2	155,4	2,3	44,1

Para o cálculo da média não foram consideradas as publicações de 2020, pelo fato deste período não estar fechado durante a conclusão da pesquisa e desta forma não representar a totalidade anual de artigos como nos outros anos avaliados.

Outro quesito observado foi em relação aos países que mais publicaram no período pesquisado. A **China** se destaca com a maior representatividade, seguida por **EUA, Reino Unido, Itália, Alemanha, Suécia, África do Sul, Brasil, Espanha, Índia, Portugal, Rússia, Coreia do Sul, Irlanda** e **Nigéria**, totalizando 82,2% das publicações, como pode ser observado na Fig. 4. O gráfico da Fig. 4 foi desenvolvido por meio da curva de Pareto e apresenta um recorte com os países que representam 82,2% do total de publicações e publicaram 3 ou mais trabalhos. Os países com duas publicações no período analisado são Austrália, Bélgica, Colômbia, França, Irã, Malásia, México, Suíça, Turquia, além de outros 15 países com apenas 1 publicação cada.

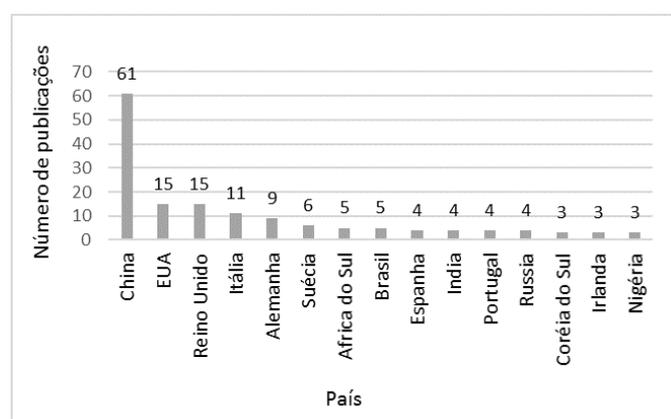


Fig. 4. Número de publicações por país.

Na pesquisa de [1], os EUA eram líderes em número de publicações, sendo que a China aparecia em segundo lugar neste quesito, havendo atualmente a inversão deste cenário.

Avaliando as publicações chinesas, houve um artigo publicado em 2020 (ano em curso), 21 artigos publicados em

2019, em 2018 e 2017 foram 13 artigos por ano, em 2016 a China publicou 8 artigos e em 2015 houve 5 publicações.

Em relação aos artigos mais citados, pode-se destacar que 33 artigos do portfólio (com mais de 25 citações por artigo) são responsáveis por 55,26% das citações. Os 3 artigos mais citados (mais de 70 citações) são: “*Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework*”, escrito por *Mike Schulze, Henrik Nehler, Mikael Ottosson e Patrik Thollander* no ano de 2016 e publicado pelo periódico *Journal of Cleaner Production* com 129 citações [13]; o artigo intitulado “*A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: An application of global data envelopment analysis*”, escrito por *Zhaohua Wang e Chao Feng*, em 2015 publicado pelo periódico *Applied Energy* com 87 citações [14]; e o artigo “*Sources of production inefficiency and productivity growth in China: A global data envelopment analysis*” também escrito por *Zhaohua Wang e Chao Feng*, em 2015 no periódico *Energy Economics* com 76 citações [15].

Já os periódicos que apresentaram maior número de publicações relacionadas ao tema em estudo foram: *Journal of Cleaner Production* (IF- JCR:3,844), *Applied Energy* (IF- JCR:5,613), *Energy Policy* (IF- JCR:2,575) e *Energy* (IF- JCR: 4,159). Se comparado com o estudo de [1], o periódico *Energy Efficiency* (IF- JCR:1,060) era o que apresentava o maior número de publicações até 2014, seguido por *Energy Policy, Applied Energy e International Journal of Energy Sector Management*, sendo possível 2 periódicos permanecem na lista dos que mais publicam pesquisas em EE, onde atualmente o *Journal of Cleaner Production* desponta com a maioria dos artigos publicados. A Tabela III apresenta um recorte dos periódicos que publicaram mais de 6 trabalhos, número de publicações no período analisado, bem como a porcentagem acumulada.

TABELA III - PERIÓDICOS COM MAIS PUBLICAÇÕES, NÚMERO DE PUBLICAÇÕES E PERCENTUAL ACUMULADO

Periódico	Número de Publicações	% Acumulado
Journal of Cleaner Production	62	33,51%
Applied Energy	23	45,95%
Energy Policy	17	55,14%
Energy	16	63,78%
Energy Efficiency	7	67,57%
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6	70,81%
TOTAL PARCIAL	131	70,81%

Destaca-se que as Instituições que mais desenvolveram estudos na área foram: *Beijing Institute of Technology*, com 6 publicações e de *Chongqing University* com 4 trabalhos publicados. *Linköping University, Northwestern Polytechnical University, Xiamen University e Zhejiang University* apresentaram 3 artigos cada. As demais instituições apresentaram apenas uma ou duas publicações de 2015 a 2020. Se comparado com as pesquisas de [1], nota-se que até 2014, a *Linköping University* era a instituição com maior número de publicações (6 trabalhos), seguido pela *Tsinghua University e Universidad de Sevilla*, com 3 trabalhos cada, sendo possível

verificar que as instituições chinesas continuam na vanguarda das pesquisas em EE, porém com mudanças em relação às instituições, permanecendo nas duas análises apenas a *Linköping University*.

Referente aos autores que mais contribuíram com o tema, destacam-se *Yingfeng Zhang* com 4 artigos publicados, seguido de *Boqiang Lin*, *Chao Feng*, *Congbo Li*, *Haidong Yang*, *Jianjun Ouyang*, *João Henriques*, *Justina Catarino*, *Wei Cai* e *Yi-Ming Wei* com 3 artigos publicados cada. Há ainda uma lista de 42 autores que publicaram 2 artigos cada, enquanto os demais apresentaram apenas uma publicação.

A Tabela IV apresenta os autores com maior número de publicações, a instituição correspondente e o país de origem. Percebe-se uma mudança em relação aos principais autores, sendo que até 2014, destacavam-se *Ernst Worrell (Utrecht University)* com 5 artigos, além de *Charles Goldman (The Hong Kong Polytechnic University)* com 3 publicações e *Clara Inés Pardo Martínez (University of Wuppertal)*, também com 3 publicações. Estes autores não apresentaram destaque em relação ao número de publicações após o ano de 2015, fato este que pode estar relacionado com a migração de instituições de referência nas pesquisas em EE.

TABELA IV - PRINCIPAIS AUTORES RELACIONADOS

Autores	Número de Publicações	Instituição	País
Yingfeng Zhang	4	Northwestern Polytechnical University	China
Boqiang Lin	3	Xiamen University	China
Chao Feng	3	Beijing Institute of Technology	China
Congbo Li	3	Chongqing University	China
Haidong Yang	3	Guangdong University of Technology	China
Jianjun Ouyang	3	Shandong Technology and Business University	China
João Henriques	3	Laboratório Nacional de Energia e Geologia	Portugal
Justina Catarino	3	Laboratório Nacional de Energia e Geologia	Portugal
Wei Cai	3	Southwest University	China
Yi-Ming Wei	3	Beijing Institute of Technology	China

Sobre as palavras-chave mais recorrentes nos artigos analisados, o termo “*energy efficiency*” apresentou a maior ocorrência, seguido de: “*energy management*”, “*energy consumption*”, “*sustainable manufacturing*”, “*industry*”, “*energy conservation*”, “*sustainability*”, “*data envelopment analysis (DEA)*”, “*optimization*”, “*China*”, “*energy policy*”, “*barriers*”, “*cleaner production*”, “*CNC*”, “*demand response*”, “*energy*”, “*energy saving*”, “*industrial energy efficiency*”, “*ISO 50001*”, “*resource efficiency*” e “*small and medium-sized enterprises*”. Se comparado com [1] (destaque em negrito), nota-se que surgem mais artigos com viés voltado às áreas de sustentabilidade, desenvolvimento da manufatura e sua relação com a eficiência energética.

Os temas das publicações foram classificados em grupos para identificar o foco de pesquisa de cada publicação, sendo considerado apenas os artigos com mais de 7 citações, que representa 52,97% do total dos artigos. A classificação dos

artigos é apresentada na Tabela V, que descreve os grupos e uma breve descrição dos tópicos relacionados.

Destaca-se que um número considerável das publicações é atribuído as questões de consumo, custo e economia de energia, e relacionados as causas ambientais e a sustentabilidade, representando 35,67% das publicações. E também se identificou que alguns artigos se referem a mais de um grupo, a fim de melhor direcionar os artigos.

Os trabalhos foram classificados quanto ao tema e depois foram agrupados conforme a similaridade dos temas de pesquisa para que fosse associado os trabalhos com a temática semelhante.

TABELA V - CLASSIFICAÇÃO DOS TEMAS

	Descrição	Artigos
Grupo 1	Reduções de custo, redução do consumo de energia, consumo de energia, custo de energia, economia de energia e controle de custos.	[19]; [21]; [26]; [32]; [39]; [41]; [42]; [43]; [44]; [45]; [47]; [58]; [59]; [60]; [62]; [68]; [76]; [82]; [83]; [90]; [91]; [61]; [73]; [89]; [97]; [103]; [110]; [116]
Grupo 2	Desempenho energético, desempenho ambiental, desempenho da operação, desempenho de economia de energia.	[13]; [14]; [30]; [48]; [49]; [63]; [66]; [69]; [77]; [119]
Grupo 3	Eficiência energética nos processos industriais, recuperação, reutilização e conservação de energia na indústria, armazenamento de energia, eficiência energética nos processos, produtividade e energia.	[17]; [23]; [25]; [28]; [34]; [46]; [50]; [51]; [52]; [53]; [54]; [55]; [74]; [78]; [84]; [85]; [92]; [120]
Grupo 4	Redução da emissão de carbono, redução da emissão de gases de efeito estufa, sistemas de fabricação sustentável, sustentabilidade ambiental, energia renovável em fábricas, valor sustentável e produção mais limpa, poluição ambiental.	[16]; [20]; [27]; [29]; [37]; [56]; [64]; [65]; [70]; [75]; [79]; [86]; [93]; [94]; [61]; [73]; [89]; [97]; [81]; [57]
Grupo 5	Gerenciamento da energia na indústria, gerenciamento térmico, gestão da sustentabilidade, gestão de energia elétrica e ISO 50001, gestão do consumo de energia, gestão industrial de conservação de energia na indústria	[18]; [22]; [31]; [40]; [71]; [72]; [80]; [87]; [81]; [109]; [111]; [112]; [115]; [117]; [118]
Grupo 6	Estratégia de fabricação sustentável, estratégia de migração, Estratégias de gestão de energia, integração da sustentabilidade no processo de desenvolvimento de produtos, inovação em eficiência energética.	[24]; [35]; [36]; [38]; [95]; [96]; [114]
Grupo 7	Políticas energéticas governamentais, políticas energéticas organizacionais, políticas de produção.	[33]; [88]; [57]; [119]
Grupo 8	Avaliação da eficiência de utilização de energia, sistema de controle de energia, avaliação da sustentabilidade dos recursos energéticos, eficiência e ineficiência do sistema, monitoramento do uso de energia, indicador de eficiência energética.	[15]; [67]; [113]

Os temas estão agrupados em: Grupo 1 (Economia), Grupo 2 (Performance), Grupo 3 (Processos), Grupo 4 (Ambiental), Grupo 5 (Gestão), Grupo 6 (Estratégia), Grupo 7 (Políticas) e Grupo 8 (Controle).

Com base nas palavras-chave e na análise dos estudos relacionados, foi possível delinear as tendências das pesquisas em EE. A Tabela VI apresenta as palavras chaves recorrentes por ano, o que permite avaliar as tendências em relação às pesquisas em EE.

No ano de 2015 pode-se observar o foco das pesquisas em sustentabilidade [93] e novas formas de produção para tornar o consumo mais eficiente, com assuntos voltados para questões econômicas, gestão de energia [101] e a redução do consumo, surgindo propostas de práticas para a redução do consumo [102] e o desenvolvimento de processos mais enxutos [60].

TABELA VI
PALAVRAS CHAVE MAIS FREQUENTES POR ANO

Ano	Palavras Chave
2015	Energy efficiency , Sustainable Manufacturing, Energy , Energy management , Innovation, Machining feature, Production inefficiency, SME e Sustainability .
2016	Energy efficiency , Energy management , Barriers , Energy saving , Industry e Pulp and paper industry.
2017	Energy efficiency , CNC machining, Energy conservation , Energy consumption , Industry, Demand side management, eco-efficiency, emissions footprints, Energy management , Energy performance contracting, Game model, Industrial energy efficiency , production, Small and medium-sized enterprises, SOA , Sustainability e Sustainable manufacturing.
2018	Energy efficiency , Energy management , Sustainable manufacturing, Energy conservation , energy policy, Energy-saving strategy, Industry, multi objective optimization, Resource efficiency, Small and medium-sized companies e Sustainability .
2019	Energy efficiency , Energy consumption , Optimization, Energy management , Energy policy, Productivity, Cleaner production, Cyber physical systems (CPSs), Distributed energy system, Energy monitoring, Energy performance, Energy saving , Energy service company, Environmental sustainability, Ethylene production, Exergy analysis, Industry, Industry 4.0, Lean manufacturing, Life cycle assessment, Production Scheduling e Sustainability .
2020	Cigarette companies, Clean energy, CO2 emission reduction potential, Corporate Energy Strategy, Data envelopment analysis, Emerging economy, Energy , Energy and environmental efficiency, Energy Efficiency , Energy system development and management, Energy-saving potential, Grey DEMATEL, Russian Energy Strategy, Sensitivity analysis e Sustainability assessment indicators.

Neste período há preocupação com a imagem da empresa e o atendimento à legislação [55], pois com o crescente aumento do consumo de energia, surge a necessidade de ponderar os impactos causados pela emissão de gases de efeito estufa. Desta forma, percebe-se a relação da EE como uma tendência de um futuro mais sustentável, sendo necessário buscar inovações que possam contribuir para suprir a demanda por energia na indústria [33]; [24], levando em consideração a necessidade de reduzir as emissões de carbono.

Já no ano de 2016, surge a preocupação com as barreiras impostas tanto pelo mercado de energia quanto pelas empresas para que a EE seja alcançada [36]. Temas como emissão de gases do efeito estufa e produção sustentável são correlacionados com proposições de uso de tecnologias para auxiliar na tomada de decisões relacionadas a gestão de energia [57], sugerindo abordagens estruturadas para controlar o consumo e analisar os impactos ambientais [103].

Em 2017 nota-se uma busca por fontes de energia que sejam, ao mesmo tempo mais econômicas, renováveis e com baixa emissão de gás carbônico [92]. Nota-se proposições sobre formas de armazenamento da energia gerada e a redução do desperdício, buscando por novas tecnologias capazes de proporcionar um maior armazenamento a um custo viável [17].

O ano de 2018 desponta com preocupações relacionadas às políticas [104] e estratégias em EE em relação aos países e as

empresas para fomento e priorização da EE, permanecendo o viés da sustentabilidade. E também aborda a importância da fabricação sustentável que é considerada importante para um desenvolvimento sustentável [65].

O foco dos estudos de 2019 tem relação com as tendências da Indústria 4.0 [95] e a Inteligência Artificial como possibilidade de controlar microrredes, a fim de proporcionar maior economia de energia, independência energética e eficiência ao integrar diversas soluções, como sistema eólico e fotovoltaico, controle de cargas e armazenamento [105], além de indicar situações de desperdício com o uso de ferramentas como IoT, buscando além da otimização dos processos, uma produção mais limpa e melhoria da performance energética [106].

Os poucos estudos disponíveis até o momento do ano de 2020 seguem na direção de busca de estratégias corporativas [107] para produção mais limpa e redução de emissões de CO₂.

Com a análise das palavras chave é possível perceber como a EE se desenvolveu nos últimos 5 anos em ambientes industriais, enquanto que outros temas apresentam oportunidades a serem melhor exploradas nos próximos anos como o desenvolvimento de serviços e produtos sustentáveis e a indústria 4.0.

B. Agenda de Pesquisa

O aprimoramento de processos produtivos, bem como a consciência no uso dos sistemas, são pontos-chaves para a sustentabilidade em relação à EE, promovendo uma otimização dos recursos energéticos nas operações. Uma das possibilidades relevantes para que exista um diagnóstico da EE é a elaboração de agendas de pesquisa, a fim de mapear estudos que vislumbrem a adoção de estratégias em eficiência energética, bem como a utilização de indicadores que evidenciem uma situação com oportunidades de melhoria e práticas que direcionam as ações para o alcance dos objetivos estratégicos.

A agenda de pesquisa apresentada na Tabela VII está dividida nas categorias Sustentabilidade e Operações, com o desmembramento das subcategorias: estratégia, indicadores e práticas, com o objetivo de identificar os periódicos presentes em cada categoria e subcategoria, os principais autores, os temas, as palavras-chave e as publicações relevantes como sugestão de leitura.

TABELA VII - AGENDA DE PESQUISA DE EE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

Eficiência Energética em Operações: Agenda de Pesquisa	
Estratégia	
Periódicos	Journal of Cleaner Production , Applied Energy , International journal of advanced manufacturing technology, International Journal of Applied Engineering Research, Energy , Energy Policy , European journal of industrial engineering, international journal of precision engineering and manufacturing-green technology.

Temas	Energy management, Energy efficiency, energy consumption, energy efficiency in the industry, Energy performance, systems operation strategy, energy policy, energy conservation in industry, renewable energy, worker behavior, energy consumption and greenhouse gas emissions greenhouse effect, energy consumption in factories, operation performance, energy efficiency and environmental awareness, innovation, energy corporate strategy, Manufacturing strategy, ISO 50001, energy control system, decision support system, distributed energy systems.
Autores	Mike Schulze, Henrik Nehler, Mikael Ottosson, Patrik Thollander, Yong Wang, Lin Li, Pablo Vallejos-Cifuentes, Camilo Ramirez-Gomez, Ana Escudero-Atehortua, Elkin Rodriguez Velasquez, Boqiang Lin, Qingying Zheng, Zeyuan Yang, Xiaohu Xu, Dahu Zhu, Sijie Yan, Han Ding, Min Wei, Seung Ho Hong, Musharraf Alam, Timm Weitzel, Christoph H. Glock, Xiaolei Wang, Boqiang Lin, Arne van Stiphout, Kristof De Vos, Geert Deconinck, Johannes Fresner, Fabio Morea, Christina Krenn, Juan Aranda Uson, Fabio Tomasi, Lujia Feng, Laine Mears, Cleveland Beaufort, Joerg Schulte, Chao Feng, Miao Wang, Yun Zhang, Guan-Chun Liu.
Palavras-chave	Energy efficiency, Energy conservation, Energy management, Industry, Optimization, CNC machining, Demand response, Distributed energy system, Energy, Energy audit, Energy management system, Energy performance contracting, Energy Saving, Game model, non-energy benefits, Production Scheduling, Sustainable machining.
Artigos sugeridos	[43]; [21]; [99]; [13]; [21]; [22]; [31]; [100]; [30]; [42]; [32];[28]; [37].
Indicadores	
Periódicos	Energy, Journal of Cleaner Production, Applied Energy, Energy Policy.
Temas	Energy saving, energy management, energy consumption, energy efficiency, operation performance, energy strategy, energy demand, energy performance, energy-environmental performance, energy savings, emission reduction, system efficiency, energy strategy system operation, energy efficiency indicator, innovation in energy efficiency, energy efficiency assessment system.
Autores	Yücel Ozkara, Mehmet Atak, Juan Wang, Tao Zhao, Enrico Cagno, Andres Ramirez-Portilla, AndreaTrianni, Hironori Hibino, Takamasa Horikawa, Makoto Yamaguchi.
Palavras-chave	Energy efficiency, Economic analysis, Energy consumption, Ethylene production, Evaluation, Industry, ISO 50001, Productivity.

Artigos sugeridos	[78]; [41]; [26]; [27]; [35]; [41].
Práticas	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Applied Energy, Energy Policy, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, South African journal of industrial engineering.
Temas	Energy management, energy consumption, energy efficiency, energy demand, energy efficiency in industry, Energy costs, energy savings, emission reduction, Energy storage, energy conservation, energy demand and carbon emissions, renewable energy, thermal management, systems management, innovation in energy efficiency, heat reuse of industrial waste, energy services, manufacturing systems.
Autores	Alessia Arteconi, Eleonora Ciarrocchi, Quanwen Pan, Francesco Carducci, Gabriele Comodi, Fabio Polonara, Ruzhu Wang, Jian-Ya Ding, Shiji Song, Rui Zhang, Raymond Chiong, Cheng Wu, Lingbo Kong, Ali Hasanbeigi, Lynn Price, María Teresa Costa-Campi, José García-Quevedo, Agustí Segarra, Minbo Yang, Xiao Feng, Guilian Liu.
Palavras-chave	Energy efficiency, Energy management, Energy consumption, Energy savings, Industry, Manufacturing, Optimization, scheduling.
Artigos sugeridos	[76]; [68]; [91]; [17]; [19]; [23]; [45].
Eficiência Energética e Sustentabilidade: Agenda de Pesquisa	
Estratégia	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Energy.
Temas	Energy consumption, energy management, sustainable development in industry, energy saving in manufacturing, energy efficiency, energy efficiency in industry, energy management in manufacturing, industrial carbon emissions, sustainability management, energy policies, environmental pollution in industry, reduction carbon emissions, reduce carbon emissions, energy efficiency assessment system, manufacturing sustainability, sustainability in product development process.
Autores	Wenwen Lin, Shengqiang Liu, Zhanpeng Xie, D.Y. Yu, Chaoyong Zhang, Xun Liu, Sanqiang Zhang, Yuhui Tian, Nevenka Hrovatin, Nives Dolsak, Jelena Zoric, João Henriques, Justina Catarino.
Palavras-chave	Energy efficiency, Sustainability, energy management, Sustainable manufacturing, Barriers, Energy consumption, Energy modeling, Green supply chain, Industrial energy efficiency, Small and medium-sized enterprises.

Artigos sugeridos	[98]; [36]; [108]; [41]; [34]; [50].
Indicadores	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Energy Policy, Applied Energy, Energy Conversion and Management, International journal of computer integrated manufacturing.
Temas	Energy consumption, energy development, energy policy, assess the energy sustainability of resources and the environmental sustainability of the pollutant, environmental performance, Energy efficiency performance, energy performance, sustainable development, resource efficiency of manufacturing systems, energy efficiency, energy efficiency in the manufacturing system, greenhouse gas emissions, industrial carbon emissions, energy efficiency strategy, contaminant emissions, energy productivity, sustainable manufacturing systems, sustainability in the management of the energy system, Sustainable value and cleaner production.
Autores	Zhaohua Wang, Chao Feng, Ke Wang, Yi-Ming Wei, Lihong Peng, Xiaoling Zeng, Yejun Wang, Gui-Bing Hong, João Henriques, Justina Catarino, Chi Ung Song, Wankeun Oh.
Palavras-chave	Energy efficiency, Energy conservation, eco-efficiency, Cleaner production, emissions footprints, Energy policy, Environmental sustainability, production, Resource efficiency, SOA, Sustainable manufacturing.
Artigos sugeridos	[14]; [20]; [29]; [18]; [33]; [65].
Práticas	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Applied Energy, Energy Efficiency , Energy Policy, Energy, Energy research & social science.
Temas	Energy reduction, energy consumption, Industrial emissions, sustainable management, energy policy, reduction of greenhouse gas emissions, energy conservation in the industry, energy saving performance, Energy performance, energy saving, material efficiency as an instrument energy efficiency in processes, manufacturing strategies, energy management, production inefficiency, sustainable operations in industry, optimization for minimum energy and sustainable manufacturing, energy recovery, cost reductions and carbon from industrial management, emission reduction, sustainability management, transition to sustainable energy.
Autores	Zhaohua Wang, Chao Feng, Giuseppe Ingarao, Yingfeng Zhang, Shuaiyin Ma, Haidong Yang, Jingxiang Lv, Yang Liu, Yansong Guo, Joost R. Duflo, Jun Qian, Hao

	Tang, Bert Lauwers.
Palavras-chave	Energy efficiency , Sustainable manufacturing, Chile, Cleaner production, Energy-intensive manufacturing industries, Industry, Lean manufacturing.
Artigos sugeridos	[39]; [15]; [93]; [38]; [44]; [46].

Com o desenvolvimento da agenda foi constatado que os a categoria de Operações apresentou a maior parte dos artigos totalizando 61,1% do total de artigos. Destes, 45,1% são artigos relacionados a estratégias utilizadas para o desenvolvimento da EE nas indústrias, 23% apresentaram práticas para a EE e 31,9% são relacionados ao uso de indicadores para o gerenciamento de energia em ambientes industriais.

Por meio do trabalho realizado para o desenvolvimento da agenda de pesquisa, foi possível ampliar o olhar no direcionamento das pesquisas em EE em ambientes industriais, o qual apresenta uma visão sobre a evolução das pesquisas acerca do tema, possibilita a constatação de quais são os assuntos, autores e periódicos que estão em ascensão no tema em comparação a pesquisa anterior [1].

Verificou-se a predominância de estratégias de energia sobre o consumo de energia, gestão de energia, emissão de poluentes pela indústria e energia renovável, e também apresentou trabalhos abordando a questão das políticas energéticas que determinam a busca por processos produtivos mais eficientes, produzindo mais com a mesma quantidade de recursos, o que permite também a busca pelo desenvolvimento sustentável.

Em todo o quadro, como se encaminha as pesquisas o desenvolvimento sustentável é uma área de pesquisa para uma futura agenda de pesquisa. O consumo, custo e economia de energia junto com redução de emissão e sustentabilidade foram os temas mais relevantes na pesquisa de EE.

Além disso, a ocorrência de artigos com a ISO 50001 aponta que as empresas estão incentivando políticas compatíveis com a ISO, auxiliando também a utilização de tecnologias para o gerenciamento de energia.

A agenda de pesquisa contribui para que futuros pesquisadores encontrem modelos, práticas, estratégias e indicadores utilizados em aplicações recentes de EE em ambientes industriais.

Portanto, estudos futuros tendem a incorporar características do desenvolvimento sustentável às práticas e estratégias de EE na manufatura a fim de diminuir as dificuldades comumente encontradas na implementação da EE nas empresas.

IV. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A EE em ambientes industriais busca otimizar o uso de energia, mantendo a produtividade e reduzindo o consumo energético ou, aumentando a produtividade sem que haja elevação do consumo de energia, que tem o potencial de aumentar a competitividade no setor e também reduzir os fatores ambientais negativos do processo produtivo.

Avaliando os resultados obtidos na análise bibliométrica, bem como a agenda de pesquisa sugerida para estudo, em comparação com o estudo anterior [1], pode-se verificar que as publicações em EE na manufatura seguem uma tendência de crescimento desde 2007, atingindo maior intensidade no

ano de 2019. Além disso, foi possível identificar alguns pontos interessantes, como no caso da China que é o país que se destacou em relação a quantidade de trabalhos publicados, no qual até 2014, era os EUA que liderava os estudos da área. E quanto as instituições que apresentam maior volume em publicações, que atualmente é a chinesa *Beijing Institute of Technology*, com 6 publicações, e anteriormente a 2015, a *Linköping University* da Suécia era a mais atuante na área. O periódico que apresentou mais publicações sobre o tema foi o *Journal of Cleaner Production*, e na pesquisa de [1], o *Energy Efficiency* aparecia com mais artigos sobre EE de acordo com os critérios elegidos.

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica e atualizar a agenda de pesquisa em EE em ambientes de manufatura, que foram atendidos após a construção de um portfólio, leitura e análise de 185 artigos. Os trabalhos elencados fornecem uma série de aspectos sobre a EE e o caminho que as pesquisas estão se direcionando. Este artigo também fornece uma gama de assuntos a serem estudados, que podem ser definidos por vários critérios e que também pode ser identificado pela prioridade do tema ou pesquisa.

O trabalho apresenta algumas limitações, como por exemplo, os parâmetros de pesquisa, que podem em algum momento restringir a listagem dos estudos, a limitação quanto às bases de dados em relação as publicações, os filtros e a disposição das publicações.

A principal contribuição desta pesquisa está em apresentar uma atualização da agenda de pesquisa em EE em ambientes industriais, além da discussão de várias questões importantes relacionadas ao tema, as quais podem servir como base para trabalhos futuros que visam promover maior eficiência no uso do recurso energia. Além disso, a pesquisa fornece informações atualizadas sobre o tema aos gestores de indústrias e aos pesquisadores acadêmicos.

Assim como sugestão para pesquisas futuras, cabe a continuação do estudo, ampliando-se as bases de busca, a fim de obter um rastreamento ainda mais rico acerca do tema, favorecendo a percepção sobre a evolução do tema e tendências de EE na indústria. Cada tópico deve ser analisado com maior profundidade, identificando os objetivos e técnicas aplicada nas pesquisas, bem como uma maior ênfase na área de sustentabilidade. Como a energia tem efeito fundamental no desenvolvimento sustentável das indústrias de manufatura, é substancial a constante melhoria na EE.

O que se propõe na agenda não é somente uma listagem de temas, mas sim uma perspectiva geral sobre o tema de pesquisa, para que se tenha uma atenção sobre o encaminhamento e rumo da pesquisa em EE, visto que é preciso se atentar para os direcionamentos da pesquisa.

Agradecimentos

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

References

- [1] F. C. Fenerich; S. E. G. da Costa; E. P. de Lima. "Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda", IEEE, v. 15, pp 415-422, 2017.
- [2] K. O'Rielly; J. Jeswiet. "Strategies to improve industrial energy efficiency". *Procedia Cirp*, vol. 15, pp. 325-330, 2014.
- [3] K. Tanaka. "Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for Policy". *Energy policy*, v. 36, n. 8, pp. 2887-2902, 2008.
- [4] J.M. Cullen; J.M Allwood. "Theoretical efficiency limits for energy conversion devices". *Energy*, vol. 35, pp. 2059-2069, 2010.
- [5] T. Gutowski *et al.* "A thermodynamics characterization of manufacturing processes". *IEEE international symposium on electronics and the environment*, pp. 137-142, 2007.
- [6] IEA (2019), *World Energy Investment 2019*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019>.
- [7] C. Cooremans; A. Schönenberger. "Energy management: A key driver of energy-efficiency investment?" *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 264-275, 2019.
- [8] Y. A. Çengel. "Energy efficiency as an inexhaustible energy resource with perspectives from the U.S. and Turkey". *International Journal of Energy Research*. 35:153-161, 2011.
- [9] T. C. S. Lima; R. C. T. Mioto. "Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica", *Revista Katálysis*, v. 10, n. SPE, pp. 37-45, 2007.
- [10] H. DU, L. Wei; L. Brown; A. Marilyn; Y. Wang; Z. Shi. "A bibliometric analysis of recent energy efficient literatures: an expanding and sifting focus". *Energy Efficiency*, v. 6, pp 177-190, 2013.
- [11] E. Munzlinger; F. B. Narcizo; J. E. R. Queiroz. "Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de IHC". In *IHC Companion*, pp. 51-54, 2012.
- [12] K. Rodriguez; J. A. Moreiro. "The growth and development of research in the field of ecology", *Scientometrics*, v. 1, n. 35. Pp 59-70, 1996.
- [13] M. Schulze; H. Nehler; M. Ottosson; P. Thollander. "Energy management in industry—a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework". *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3692-3708, 2016.
- [14] Z. Wang; C. Feng. "A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: An application of global data envelopment analysis". *Applied Energy*, vol. 147, pp. 617-626, 2015.
- [15] Z. Wang; C. Feng. "Sources of production inefficiency and productivity growth in China: A global data envelopment analysis". *Energy Economics*, vol. 49, pp. 380-389, 2015.
- [16] W. Lin *et al* "A Multi-objective teaching-learning-based optimization algorithm to scheduling in turning processes for minimizing make span and carbon footprint", *Journal of Cleaner Production*, v. 101, p. 337-347, 2015.
- [17] A. Arteconi *et al* "Thermal energy storage coupled with PV panels for demand side management of industrial building cooling loads". *Applied Energy*, v. 185, p. 1984-1993, 2017.
- [18] K. Wang; Y. M. Wei. "Sources of energy productivity change in China during 1997-2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity indicator. *Energy Economics*, v. 54, p. 50-59, 2016.
- [19] J. Y. Ding *et al* "Parallel machine scheduling under time-of-use electricity prices: New models and optimization approaches". *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 13, n. 2, p. 1138-1154, 2015.
- [20] L. Peng *et al.* "Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry". *Energy Policy*, v. 80, p. 65-75, 2015.
- [21] Y. Wang; L. Li. "Time-of-use electricity pricing for industrial customers: A survey of U.S. utilities". *Applied Energy*, v. 149, p. 89-103, 2015.
- [22] P. Vallejos-Cifuentes *et al.* "Energy-Aware Production Scheduling in Flow Shop and Job Shop Environments Using a Multi-Objective Genetic Algorithm". *Engineering Management Journal*, v. 31, n. 2, p. 82-97, 2019.
- [23] L. Kong; A. Hasanbeigi; L. Price. "Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: a technical review". *Journal of Cleaner Production*, v. 122, p. 5-28, 2016.
- [24] M. T. Costa-Campi; J. García-Quevedo; A. Segarra. "Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms". *Energy Policy*, v. 83, p. 229-239, 2015.
- [25] B. Lin; Q. Zheng. "Energy efficiency evolution of China's paper industry". *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 1105-1117, 2017.
- [26] Y. Ozkara; M. Atak. "Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey". *Energy*, v. 93, p. 495-510, 2015.
- [27] J. Wang; T. Zhao. "Regional energy-environmental performance and investment strategy for China's non-ferrous metals industry: a non-radial DEA based analysis". *Journal of Cleaner Production*, v. 163, p. 187-201, 2017.
- [28] Z. Yang *et al.* "On energetic evaluation of robotic belt grinding mechanisms based on single spherical abrasive grain model". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 104,

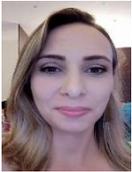
- n. 9-12, p. 4539-4548, 2019.
- [29] J. Henriques; J. Catarino. "Sustainable value and cleaner production - Research and application in 19 Portuguese SME". *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 379-386, 2015.
- [30] T. Weitzel; C. H. Glock. "Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review". *European Journal of Operational Research*, 264(2), 582-606 v. 264, n. 2, p. 582-606, 2018.
- [31] M. Wei; S. H. Hong; M. Alam. "An IoT-based energy-management platform for industrial facilities". *Applied Energy*, v. 164, p. 607-619, 2016.
- [32] X. Wang; B. Lin. "Factor and fuel substitution in China's iron & steel industry: evidence and policy implications". *Journal of cleaner production*, v. 141, p. 751-759, 2017.
- [33] C. Song; w. Oh. "Determinants of innovation in energy intensive industry and implications for energy policy". *Energy Policy*, v. 81, p. 122-130, 2015.
- [34] N. Hrovatin; N. D. sak; J. Zori. "Factors impacting investments in energy efficiency and clean technologies: empirical evidence from Slovenian manufacturing firms". *Journal of Cleaner Production*, v. 127, p. 475-486, 2016.
- [35] E. Cagno; A. Ramirez-Portilla; A. Trianni. "Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector". *Energy Policy*, v. 83, p. 240-256, 2015.
- [36] J. Henriques; J. Catarino. "Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises". *Journal of Cleaner Production*, v. 139, p. 42-50, 2016.
- [37] A. van Stiphout; K. De Vos; G. Deconinck. "The impact of operating reserves on investment planning of renewable power systems". *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 32, n. 1, p. 378-388, 2016.
- [38] G. Ingarao. "Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use: The role of metal shaping processes". *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 2872-2886, 2017.
- [39] Y. Zhang *et al.* "A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries". *Journal of Cleaner Production*, v. 197, p. 57-72, 2018.
- [40] J. Fresner *et al.* "Energy efficiency in small and medium enterprises: Lessons learned from 280 energy audits across Europe". *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 1650-1660, 2017.
- [41] H. Hibino; T. Horikawa; M. Yamaguchi. "A study on lot-size dependence of the energy consumption per unit of production throughput concerning variable lot-size". *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and manufacturing*, v.13, n. 3, p. 62, 2019.
- [42] L. Feng; L. Mears; C. Beaufort; J. Schulte. "Energy, economy, and environment analysis and optimization on manufacturing plant energy supply system". *Energy Conversion and Management*, v. 117, p. 454-465, 2016.
- [43] C. Feng *et al.* "Decomposition of energy efficiency and energy-saving potential in China: A three-hierarchy meta-frontier approach". *Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 1054-1064, 2018.
- [44] Y. Guo *et al.* "An operation-mode based simulation approach to enhance the energy conservation of machine tools". *Journal of Cleaner Production*, v. 101, p. 348-359, 2015.
- [45] M. Yang; X. Feng; G. Liu. "Heat integration of heat pump assisted distillation into the overall process". *Applied energy*, v. 162, p. 1-10, 2016.
- [46] K. Li; N. Zhang; Y. Liu. "The energy rebound effects across China's industrial sectors: An output distance function approach". *Applied Energy*, v. 184, p. 1165-1175, 2016.
- [47] T. Peng; X. Xu. "An interoperable energy consumption analysis system for CNC machining". *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 1828-1841, 2017.
- [48] K. Salonitis, K. "Energy efficiency assessment of grinding strategy". *International Journal of Energy Sector Management*, v. 9, n. 1, p. 20-37, 2015.
- [49] N. Wu; Z. Li; T. Qu. "Energy efficiency optimization in scheduling crude oil operations of refinery based on linear programming". *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 49-57, 2017.
- [50] A. Svensson; S. Paramonova. "An analytical model for identifying and addressing energy efficiency improvement opportunities in industrial production systems – model development and testing experiences from Sweden". *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 2407-2422, 2017.
- [51] Y. Zhang; L. Ge. "Method for process planning optimization with energy efficiency consideration". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 77, n. 9-12, p. 2197-2207, 2015.
- [52] A. S. Wallerand; M. Kermani; I. Kantor; F. Maréchal. "Optimal heat pump integration in industrial processes". *Applied Energy*, v. 219, p. 68-92, 2018.
- [53] B. Lina; Z. Du. "Promoting energy conservation in China's metallurgy industry". *Energy Policy*, v. 104, p. 285-294, 2017.
- [54] S. Dasgupta; J. Roy. "Understanding technological progress and input price as drivers of energy demand in manufacturing industries in India". *Energy Policy*, v. 83, p. 1-13, 2015.
- [55] E. O'Driscoll; K. Kelly; G. E. O'Donnell. "Intelligent energy based status identification as a platform for improvement of machine tool efficiency and effectiveness". *Journal of Cleaner Production*, v. 105, p. 184-195, 2015.
- [56] O. Y. Edelenbosch *et al.* "Comparing projections of industrial energy demand and greenhouse gas emissions in long-term energy models". *Energy*, v. 122, p. 701-710, 2015.
- [57] H. Liang *et al.* "Balancing regional industrial development: analysis on regional disparity of China's industrial emissions and policy implications". *Journal of Cleaner Production*, v. 126, p. 223-235, 2016.
- [58] S. Safarzadeh; M. Rasti-Barzoki. "A game theoretic approach for pricing policies in a duopolistic supply chain considering energy productivity, industrial rebound effect, and government policies". *Energy*, v. 167, p. 92-105, 2019.
- [59] S. Jia *et al.* "Energy modeling method of machine-operator system for sustainable machining". *Energy Conversion and Management*, v. 172, p. 265-276, 2018.
- [60] P. Ball. "Low energy production impact on lean flow. *Journal of manufacturing technology management*, v. 26, n. 3, p. 412-428, 2015.
- [61] D. L. Summerbell; D. Khripko; C. Barlow; J. Hesselbach. "Cost and carbon reductions from industrial demand-side management: Study of potential savings at a cement plant". *Applied Energy*, v. 197, p. 100-113, 2017.
- [62] L. Li *et al.* "Influence factors and operational strategies for energy efficiency improvement of CNC machining". *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 220-238, 2017.
- [63] N. Salah; M. A. Jafari. "Energy-Performance as a driver for optimal production planning". *Applied energy*, v. 174, p. 88-100, 2016.
- [64] B. S. Silvestre; F. A. P. Gimenes, F. A. P. "A sustainability paradox? Sustainable operations in the offshore oil and gas industry: The case of Petrobras". *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 360-370, 2017.
- [65] C. Liu *et al.* "Energy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance". *Energy Conversion and Management*, v. 177, p. 176-189, 2018.
- [66] B. Jovanović; J. Filipović; V. Bakić. "Energy management system implementation in Serbian manufacturing-Plan-Do-Check-Act cycle approach". *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 1144-1156, 2017.
- [67] A. Hoang; P. Do; B. Lung. "Energy efficiency performance-based prognostics for aided maintenance decision-making: Application to a manufacturing platform". *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 2838-2857, 2017.
- [68] S. Lee; B. D. Chung; H. W. Jeon; J. Chang. "A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time-varying electricity pricing". *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 552-563, 2017.
- [69] E. Andersson; O. Arfwidsson; P. Thollander. "Benchmarking energy performance of industrial small and medium-sized enterprises using an energy efficiency index: Results based on an energy audit policy program". *Journal of Cleaner Production*, v. 182, p. 883-895, 2018.
- [70] P. Ghadimi; S. Kara; B. Kornfeld, B. "Renewable energy integration into factories: Real-time control of on-site energy systems". *CIRP Annals*, v. 64, n. 1, p. 443-446, 2015.
- [71] J. Wilson; A. Arokiam; H. Belaidi; J. Ladbroke. "A simple energy usage toolkit from manufacturing simulation data". *Journal of Cleaner Production*, v. 122, p. 266-276, 2016.
- [72] O. Alarfaj; K. Bhattacharya. "Material Flow Based Power Demand Modeling of an Oil Refinery Process for Optimal Energy Management". *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 34, n. 3, p. 2312-2321, 2018.
- [73] J. Liu; S. Zhang; F. Wagner. "Exploring the driving forces of energy consumption and environmental pollution in China's cement industry at the provincial level". *Journal of Cleaner Production*, v. 184, p. 274-285, 2018.
- [74] Z. Han; S. Guo. "Investigation of operation strategy of combined cooling, heating and power (CCHP) system based on advanced adiabatic compressed air energy storage". *Energy*, v. 160, p. 290-308, 2018.
- [75] X. Xu *et al.* "Factors influencing industrial carbon emissions and

- strategies for carbon mitigation in the Yangtze River Delta of China". *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 3607-3616, 2017.
- [76] J. Catarino; J. Henriques; F. Egreja. "Portuguese SME toward energy efficiency improvement". *Energy Efficiency*, v. 8, n. 5, p. 995-1013, 2015.
- [77] Y. Wang; X. Jin; X. Fang. "Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis". *Energy and Buildings*, v. 134, p. 162-170, 2017.
- [78] W. Wang; H. Yang; Y. Zhang; J. Xu. "IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 31, n. 4-5, p. 362-379, 2018.
- [79] E. L. Vine; C. M. Jones. "Competition, carbon, and conservation: Assessing the energy savings potential of energy efficiency competitions". *Energy Research & Social Science*, v. 19, p. 158-176, 2016.
- [80] A. Abdulaal; R. Moghaddass; S. Asfour. "Two-stage discrete-continuous multi-objective load optimization: An industrial consumer utility approach to demand response". *Applied energy*, v. 206, p. 206-221, 2017.
- [81] Y. Fernando; P. S. Bee; C. J. C. Jabbar; A. M. T. Thomé. "Understanding the effects of energy management practices on renewable energy supply chains: Implications for energy policy in emerging economies". *Energy Policy*, v. 118, p. 418-428, 2018.
- [82] J. Tuo; F. Liu; P. Liu; H. Zhang; W. Cai. "Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual part". *Energy*, v. 159, p. 172-183, 2018.
- [83] Z. Liu; S. Guo; L. Wang. "Integrated green scheduling optimization of flexible job shop and crane transportation considering comprehensive energy consumption". *Journal of cleaner production*, v. 211, p. 765-786, 2019.
- [84] D. Kindström; M. Ottosson. "Local and regional energy companies offering energy services: Key activities and implications for the business model". *Applied Energy*, v. 171, p. 491-500, 2016.
- [85] M. J. S. Zuberi; A. Tijdink; M. K. Patel. "Techno-economic analysis of energy efficiency improvement in electric motor driven systems in Swiss industry". *Applied Energy*, v. 205, p. 85-104, 2017.
- [86] A. K. Bergquist; K. Söderholm. "Sustainable energy transition: the case of the Swedish pulp and paper industry 1973-1990". *Energy Efficiency*, v. 9, n. 5, p. 1179-1192, 2016.
- [87] I. F. Edem; V. A. Balogun; P. T. Mativenga. "An investigation on the impact of toolpath strategies and machine tool axes configurations on electrical energy demand in mechanical machining". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 92, n. 5-8, p. 2503-2509, 2017.
- [88] J. Malinauskaitė *et al.* "Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK". *Energy*, v. 172, p. 255-269, 2019.
- [89] P. C. Priarone. "Quality-conscious optimization of energy consumption in a grinding process applying sustainability indicators". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 86, n. 5-8, p. 2107-2117, 2016.
- [90] P. Liu *et al.* "A novel method for energy efficiency evaluation to support efficient machine tool selection". *Journal of cleaner production*, v. 191, p. 57-66, 2018.
- [91] S. Wang *et al.* "Big Data enabled Intelligent Immune System for energy efficient manufacturing management". *Journal of Cleaner Production*, v. 195, p. 507-520, 2018.
- [92] M. Pusnik; F. Al-Mansour; B. Susic; M. Cesen. "Trends and prospects of energy efficiency development in Slovenian industry". *Energy*, v. 136, p. 52-62, 2017.
- [93] S. Wang; X. Lu; X. X. Li; W. D. Li. "A systematic approach of process planning and scheduling optimization for sustainable machining". *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 914-929, 2015.
- [94] Q. Zhang; W. Tang; J. Zhang. "Who should determine energy efficiency level in a green cost-sharing supply chain with learning effect?". *Computers & Industrial Engineering*, v. 115, p. 226-239, 2018.
- [95] Y. Lu; T. Peng; X. Xu. "Energy-efficient cyber-physical production network: Architecture and technologies". *Computers & Industrial Engineering*, v. 129, p. 56-66, 2019.
- [96] N. O. Kapustin; D. A. Grushevenko. "Exploring the implications of Russian Energy Strategy project for oil refining sector". *Energy Policy*, v. 117, p. 198-207, 2018.
- [97] B. Gong, B. "Different behaviors in natural gas production between national and private oil companies: Economics-driven or environment-driven?" *Energy Policy*, v. 114, p. 145-152, 2018.
- [98] S. Ma; Y. Zhang; J. Lv; H. Yang; J. Wu. "Energy-cyber-physical system enabled management for energy-intensive manufacturing industries". *Journal of Cleaner Production*, v. 226, p.892-903, 2019.
- [99] Z. Wena; Y. Wanga; C. Zhang; X. Zhang. "Uncertainty analysis of industrial energy conservation management in China's iron and steel industry". *Journal of Environmental Management*, v. 225, p. 205-214, 2018.
- [100] D. Uz. "Energy efficiency investments in small and medium sized manufacturing firms: The case of California energy crisis". *Energy Economics*, v. 70, p. 421-428, 2018.
- [101] S. M. Abolarin *et al.* "An economic evaluation of energy management opportunities in a medium scale manufacturing industry in Lagos". In *International Journal of Engineering Research in Africa*, v. 14, p. 97-106, 2015.
- [102] J. Han; S. J. Yun. "An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector". *Energy Efficiency*, v. 8, n. 6, p. 1035-1047, 2015.
- [103] B. A. Schlueter; M. B. Rosano. "A holistic approach to energy efficiency assessment in plastic processing." *Journal of Cleaner Production*, v. 118, p. 19-28, 2016.
- [104] N. Finnerty; R. Sterling; S. Contreras; D. Coakley; M. M. Keane. "Defining corporate energy policy and strategy to achieve carbon emissions reduction targets via energy management in non-energy intensive multi-site manufacturing organisations". *Energy*, v. 151, p. 913-929, 2018.
- [105] T. H. Kwan; Y. Shen; Q. Yao. "An energy management strategy for supplying combined heat and power by the fuel cell thermoelectric hybrid system". *Applied Energy*, v. 251, p. 113318, 2019.
- [106] J. Brinkerink; A. Chegut; W. Letterie. "Energy performance and capital expenditures in manufacturing industries". *Energy Efficiency*, v. 12, n. 8, p. 2011-2038, 2019.
- [107] G. F. G. Teixeira; O.C. Junior. "How to make strategic planning for corporate sustainability?". *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 1421-1431, 2019.
- [108] Y. Guo; J. R. Dufloy; Y. Deng; B. Lauwers. "A life cycle energy analysis integrated process planning approach to foster the sustainability of discrete part manufacturing". *Energy*, v. 153, p. 604-617, 2018.
- [109] S. Baysan; O. Kabadurmus; E. Cevikcan; S. I. Satoglu; M. B. Durmusoglu. "A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry". *Journal of cleaner production*, v. 211, p. 895-908, 2019.
- [110] N. Diaz-Elsayed; D. Dornfeld; A. Horvath. "A comparative analysis of the environmental impacts of machine tool manufacturing facilities". *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 223-231, 2015.
- [111] N. Finnerty; R. Sterling; D. Coakley; S. Contreras; R. Coffey; M. Keane. "Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology". *Energy*, v. 136, p. 16-31, 2017.
- [112] H. Hopf; E. Müller. "Providing energy data and information for sustainable manufacturing systems by Energy Cards". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 36, p. 76-83, 2015.
- [113] H. Liao; Y. F. Du; Z. Huang; Y. M. Wei, Y. M. "Measuring energy economic efficiency: A mathematical programming approach". *Applied Energy*, v. 179, p. 479-487, 2016.
- [114] L. A. Ocampo *et al.* "An integrated sustainable manufacturing strategy framework using fuzzy analytic network process". *Advances in Production Engineering & Management*, v. 10, n. 3, p. 125, 2015.
- [115] M. Coatalem; V. Mazauric; C. Le Pape-Gardeux; N. Maïzi, N. "Optimizing industries' power generation assets on the electricity markets". *Applied Energy*, v. 185, p. 1744-1756, 2017.
- [116] J. Ouyang; H. Shen, H. "The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer considering non-energy benefits". *Journal of cleaner production*, v. 141, p. 83-98, 2017.
- [117] Peng, K. *et al.* "Interdependence between energy and metals in China: evidence from a nexus perspective". *Journal of cleaner production*, v. 214, p. 345-355, 2019.
- [118] M. Richert. "An energy management framework tailor-made for SMEs: Case study of a German car company". *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 221-229, 2017.
- [119] I. Siksnyte; E. K. Zavadskas; R. Bausys; D. Streimikiene, D. "Implementation of EU energy policy priorities in the Baltic Sea Region countries: Sustainability assessment based on neutrosophic MULTIMOORA method". *Energy policy*, v. 125, p. 90-102, 2019.
- [120] X. Xing *et al.* "Optimal design of distributed energy systems for industrial parks under gas shortage based on augmented ϵ -constraint method. *Journal of cleaner production*, v. 218, p. 782-795, 2019.
- [121] S. Gong; C. Shao; L. Zhu. "Multi-level and multi-granularity energy

efficiency diagnosis scheme for ethylene production process". Energy, v. 170, p. 1151-1169, 2019.



Karoline Guedes, é graduada em Engenharia de Produção (2018) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Mestranda (2020) em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Tem experiência na área de Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: construção civil, planejamento e controle de produção e gerenciamento de estoques.



Nelly Heine Marques Cordeiro, possui graduação em Engenharia de Produção Agroindustrial (2004) pela Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), especialista em Gestão Estratégica de Empresas (2008) pela Faculdade Maringá e Mestranda (2020) em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente é professora do Centro Universitário Integrado. Tem experiências na área de Gestão de Operações e docência no ensino superior nas áreas de Engenharia de Produção e Administração.



Gislayne de Souza de Lima, mestranda em Engenharia de Produção pelo programa PGP na área de Gerência da Produção na linha de pesquisa de Apoio à Tomada de Decisão pela UEM. Graduação em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Integrado de Campo Mourão (2018). Tem experiência na área de gestão da produção, controle de estoque e gestão da qualidade.



Francielle Cristina Fenerich, é graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá (2005), mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2009) e doutora em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2017). Tem experiência em supervisão de processos e atualmente é professora do corpo efetivo do curso de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá e do Mestrado em Engenharia de Produção – UEM.



André Luiz Gazoli de Oliveira, possui graduação em Engenharia de Produção (2008), mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas (2012) e doutorado em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2019). Atualmente é professor assistente da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: customização em massa e produção enxuta.

APÊNDICE B – Portfólio de publicações da revisão sistemática

Quadro 5 – Portfólio de publicações da revisão sistemática.

Nº	Título	Fonte	Ano	Pais	Journal
1	Measuring energy performance: A process-based approach	Perroni <i>et al.</i>	2018	Brasil	Applied Energy
2	Uncertainty analysis of industrial energy conservation management in China's iron and steel industry	Wen <i>et al.</i>	2018	China	Journal of Environmental Management
3	Disturbance modelling through steady-state value deviations: The determination of suitable energy indicators and parameters for energy consumption monitoring in a typical sugar mill	Mkwanzani <i>et al.</i>	2019a	África do Sul	Energy
4	Multi-level and multi-granularity energy efficiency diagnosis scheme for ethylene production process	Gong; Shao e Zhu	2019b	China	Energy
5	Energy efficiency performance-based prognostics for aided maintenance decision-making: Application to a manufacturing platform	Hoang; Do e Iung	2017	França	Journal of Cleaner Production
6	Towards sustainable development in industrial small and Medium-sized Enterprises: An energy sustainability approach	Prashar	2019	Índia	Journal of Cleaner Production
7	Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector	Cagno <i>et al.</i>	2015	Itália	Energy Policy
8	Expanding exergy analysis for the sustainability assessment of SJ-type oil shale retorting process	Wang, Q. <i>et al.</i>	2019	China	Energy Conversion and Management
9	Influence of the production fluctuation on the process energy intensity in iron and steel industry	Chen <i>et al.</i>	2017	China	Advances in Production Eng. & Man.
10	Modeling, analysis, and improvement of integrated productivity and energy consumption in a serial manufacturing system	Bajpai; Fernandes e Tiwari	2018	Reino Unido	Journal of Cleaner Production
11	Leveraging material efficiency as an energy and climate instrument for heavy industries in the EU	Hernandez <i>et al.</i>	2018	Reino Unido	Energy Policy
12	Emergy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance	Liu <i>et al.</i>	2018	China	Energy Conversion and Management
13	Benchmarking energy performance of industrial small and medium-sized enterprises using an energy efficiency index: Results based on an energy audit policy program	Andersson, Arfwidsson e Thollander	2018	Suécia	Journal of Cleaner Production
14	Trends and prospects of energy efficiency development in Slovenian industry	Pusnik <i>et al.</i>	2017	Eslovênia	Energy
15	IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises	Wang, W. <i>et al.</i>	2017	China	International Journal of Comp. Int. Man.
16	Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis	Wang, Y. <i>et al.</i>	2017	China	Energy and Buildings
17	Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey	Özara e Atak	2015	Turquia	Energy

Continua

18	Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems	Papetti <i>et al.</i>	2019	Itália	Applied Energy
19	Factors affecting the electricity consumption and productivity of the lead acid battery formation process. The case of a battery plant in Colômbia	Morejón <i>et al.</i>	2019	Colômbia	International Journal of Ene. Economics and Policy
20	A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production	Bühler <i>et al.</i>	2019	Dinamarca	Applied Energy
21	A study on lot-size dependence of the energy consumption per unit of production throughput concerning variable lot-size	Hibino; Horikawa e Yamaguchi	2019	Japão	Journal of Advanced Mech. Des. Syst. and Man.
22	Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant	Pelser; Vosloo e Mathews	2018	África do Sul	Journal of Cleaner Production
23	Assessment of energy efficiency measures in the petrochemical industry in Thailand	Tantisattayakul <i>et al.</i>	2016	Tailândia	Journal of Cleaner Prod.
24	Investigation of operation strategy of combined cooling, heating and power (CCHP) system based on advanced adiabatic compressed air energy storage	Han e Guo	2018	China	Energy
25	Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual part	Tuo <i>et al.</i>	2018	China	Energy
26	A behavioral change-based approach to energy efficiency in a manufacturing plant	Mahapatra <i>et al.</i>	2018	Suécia	Energy Efficiency
27	A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries	Zhang <i>et al.</i>	2018	China	Journal of Cleaner Prod.
28	A simple energy usage toolkit from manufacturing simulation data	Wilson <i>et al.</i>	2016	Reino Unido	Journal of Cleaner Prod.
29	A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry	Baysan <i>et al.</i>	2019	Turquia	Journal of Cleaner Production
30	Exploring the driving forces of energy consumption and environmental pollution in China's cement industry at the provincial level	Liu <i>et al.</i>	2018	Áustria	Journal of Cleaner Production
31	Structural design optimization of moving component in CNC machine tool for energy saving	Ji <i>et al.</i>	2019	China	Journal of Cleaner Prod.
32	Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry	Peng <i>et al.</i>	2015	China	Energy Policy
33	Assessment of a Diagnostic Procedure for the Monitoring and Control of Industrial Processes	Corsini <i>et al.</i>	2015	Itália	Energy Procedia
34	Decomposition of energy efficiency and energy-saving potential in China: A three-hierarchy meta-frontier approach	Feng <i>et al.</i>	2018	China	Journal of Cleaner Production

Continua

35	Energy management system implementation in Serbian manufacturing -Plan-Do-Check-Act cycle approach	Jovanović <i>et al.</i>	2017	Servia	Journal of Cleaner Prod.
36	Exploring the implications of Russian Energy Strategy project for oil refining sector	Kapustin e Grushevenko	2018	Rússia	Energy Policy
37	Fallacies of energy efficiency indicators: Recognizing the complexity of the metabolic pattern of the economy	Velasco-Fernández; Dunlop e Giampietro	2019	Espanha	Energy Policy
38	Implementation of EU energy policy priorities in the Baltic Sea Region countries: Sustainability assessment based on neutrosophic MULTIMOORA method	Siksnylyte <i>et al.</i>	2019	Lituânia	Energy Policy
39	Measuring energy economic efficiency: A mathematical programming approach	Liao <i>et al.</i>		China	Applied Energy
40	Multi-scale decomposition of energy-related industrial carbon emission by an extended logarithmic mean Divisia index: a case study of Jiangxi, China	Jia <i>et al.</i>	2019	China	Energy Efficiency
41	Sources of energy productivity change in China during 1997 â 2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity indicator	Wang K. <i>et al.</i>	2016	China	Energy Economics
42	Sustainable value and cleaner production - Research and application in 19 Portuguese SME	Henriques e Catarino	2015	Portugal	Journal of Cleaner Prod.
43	Energy efficiency optimization of ethylene production process with respect to a novel FLPEM-based material-product nexus	Gong; Shao e Zhu	2019	China	International Journal of Energy Research

Fonte: Autoria Própria (2021).

APÊNDICE C – Análise de conteúdo

Quadro 6 – Análise de conteúdo.

ID	Indicador	Classificação	Categoria	Subcategoria	Unidade de registro	Codificação	Fonte
1	Eficiência energética direta	Tático	Sistema	Desempenho	Desempenho de energia de cada processo	SA01	Perroni <i>et al.</i> (2018)
2	Mudança na eficiência energética direta	Tático	Sistema	Desempenho	Consumo de energia em uma unidade de produção no respectivo processo	SA02	
3	Eficiência energética indireta	Tático	Subsistema	Desempenho	Energia incorporada e indireta nos processos	SB01	
4	Eficiência energética relativa	Tático	Sistema	Desempenho	Consumo de energia - maximização da produtividade energética do processo	SA03	
5	Consumo de energia no setor	Estratégico	Setorial	Desempenho	Consumo de energia do setor industrial	SL01	Wen <i>et al.</i> (2018)
6	Desempenho energético da unidade evaporadora	Tático	Subsistema	Desempenho	Desempenho da unidade de processo	SB02	Mkwananzi <i>et al.</i> (2019)
7	Energia da unidade de cristalização	Tático	Subsistema	Desempenho	Operação de cristalização	SB03	
8	Consumo de energia comparável	Tático	Subsistema	Processo	Consumo de energia comparáveis do subprocesso	SB04	Gong; Shao; Zhu (2019b)
9	Eficiência energética no nível componente	Operacional	Componente	Resultado	Eficiência energética no nível do componente	CP01	Hoang <i>et al.</i> (2017)
10	Consumo total de energia do componente	Operacional	Componente	Resultado	Unidade de energia comum do componente	CP02	
11	Eficiência Energética do sistema	Tático	Subsistema	Resultado	Consumo total de energia – Eficiência Energética	SB05	
12	Energia total consumida no componente	Operacional	Componente	Entrada/saída	Energia total consumida no sistema	CP03	
13	Eficiência Energética do componente	Tático	Sistema	Resultado	Energia total consumida	SA04	
14	Custo de energia	Tático	Sistema	Econômico	Análise do consumo interno	SA05	Prashar (2019)
15	Consumo específico de energia	Tático	Sistema	Resultado	Consumo de energia em seus processos.	SA06	Cagno <i>et al.</i> (2015)
16	Consumo de descarga de poluentes do sistema	Tático	Sistema	Impacto ambiental	Relativo da redução do consumo de exergia da descarga de poluentes subunidade ou em todo o sistema	SA07	Wang Q. <i>et al.</i> (2019)
17	Fator de impacto ambiental	Tático	Subsistema	Impacto ambiental	Relativo da redução do consumo de exergia da descarga de poluentes subunidade ou em todo o subsistema	SB06	
18	Eficiência de utilização de recursos	Tático	Sistema	Recurso	Utilização total de recursos para todo o sistema	SA08	
19	Eficiência de utilização de recursos	Tático	Subsistema	Recurso	O indicador eficiência da utilização dos recursos subsistema	SB07	

Continua

20	Consumo cumulativo de exergia	Tático	Subsistema	Processo	Consumo cumulativo de exergia de recursos e utilidades por unidade do produto selecionado na subunidade	SB08	Wang Q. <i>et al.</i> (2019)
21	Consumo cumulativo de exergia	Tático	Subsistema	Recurso	Consumo cumulativo de exergia do componente (ciclo de vida, operação manutenção e descomissionamento)	SB09	
22	Impacto ambiental das emissões de resíduos	Tático	Subsistema	Impacto ambiental	Medida do impacto ambiental das emissões de resíduos na subunidade	SB10	
23	Medida do impacto ambiental das emissões de resíduos	Tático	Subsistema	Impacto ambiental	Medida do impacto ambiental das emissões de resíduos no componente	SB11	
24	Consumo total de energia do processo	Tático	Subsistema	Processo	Consumo de energia durante o processo de produção	SB12	Chen <i>et al.</i> (2017)
25	Consumo de energia eventos de inatividade	Operacional	Máquina	Operação	Consumo de energia da máquina por unidade em evento de inatividade	MA01	Bajpai; Fernandes e Tiwari (2018)
26	Consumo de energia por unidade	Operacional	Máquina	Desempenho	Consumo de energia nominal na máquina	MA02	
27	Consumo de energia por unidade sem eventos de interrupção	Operacional	Máquina	Operação	Consumo de energia por unidade de parte do sistema de fabricação	MA02	
28	Desempenho do consumo de energia	Tático	Subsistema	Desempenho	Consumo de energia por unidade de produção	SB13	
29	Energia consumida durante a marcha lenta	Operacional	Máquina	Operação	Consumo de energia na máquina	MA03	
30	Consumo líquido de energia	Operacional	Máquina	Desempenho	Consumo de energia na máquina por unidade de peça	MA04	
31	Energia total consumida pela linha de produção	Tático	Subsistema	Processo	Energia total na linha de produção	SB14	
32	Intensidade energética	Estratégico	Regional	Desempenho	Indústrias da união europeia	RE01	Hernandez <i>et al.</i> (2018)
33	Intensidade energética de física	Estratégico	Setorial	Resultado	Consumo do setor intensivo em energia	SL02	
34	Produtividade energética	Estratégico	Setorial	Desempenho	Consumo do setor intensivo em energia	SL03	
35	Energia e emergia dos sistemas	Tático	Sistema	Recurso	Energia-emergia usada no sistema de fabricação	SA09	Liu <i>et al.</i> (2018)
36	Energia-emergia do subsistema	Tático	Subsistema	Recurso	Os sistemas de fabricação têm muitos subsistemas	SB15	
37	Energia material dos sistemas	Tático	Sistema	Recurso	Energia material da matéria prima utilizada nos sistemas de fabricação	SA10	
38	Energia do material do subsistema	Tático	Subsistema	Recurso	Energia material da matéria prima utilizada nos subsistemas de fabricação	SB16	
39	Energia de serviço dos sistemas	Tático	Sistema	Recurso	Quantifica todos os serviços nos sistemas de fabricação, representa o consumo no sistema	SA11	
40	Energia de serviço do subsistema	Tático	Subsistema	Recurso	Quantifica os serviços nos subsistemas de fabricação	SB17	

Continua

41	Energia residual dos sistemas	Tático	Sistema	Perda	Resíduos do sistema de fabricação	SA12	Liu <i>et al.</i> (2018)
42	Energia residual do subsistema	Tático	Subsistema	Perda	Resíduos do subsistema de fabricação	SB18	
43	Recursos renováveis do sistema	Tático	Sistema	Impacto ambiental	Uso de energia renovável nos sistemas de manufatura	SA13	
44	Energia de recurso renovável do subsistema	Tático	Subsistema	Impacto ambiental	Energia renovável nos subsistemas de manufatura	SB19	
45	Energia de recursos não renováveis do sistema	Tático	Sistema	Recurso	Energia de recursos não renovável no sistema e subsistema	SA13	
46	Energia de recursos não renovável	Tático	Subsistema	Recurso	Energia de recursos não renovável no subsistema	SB20	
47	Energia de entrada do sistema	Tático	Subsistema	Entrada/saída	A entrada de energia dos sistemas de fabricação	SB21	
48	Energia de saída do sistema	Tático	Subsistema	Entrada/saída	A energia de saída do sistema industrial	SB22	
49	Energia total dos sistemas	Tático	Sistema	Resultado	A entrada total de energia dos sistemas de fabricação	SA14	
50	Energia total consumida pelo subsistema	Tático	Subsistema	Resultado	A energia total de saída do sistema industrial	SB23	
51	Eficiência de produção do sistema	Tático	Sistema	Resultado	Reflete a eficiência da utilização energética do sistema	SA15	
52	Eficiência energética da produção	Tático	Sistema	Resultado	Reflete o nível de produção do sistema de fabricação	SA16	
53	Relação do amplificador de energia	Tático	Sistema	Resultado	Reflete o efeito marginal do sistema, o potencial de desenvolvimento dos sistemas de fabricação	SA17	Liu <i>et al.</i> (2018)
54	Produção média de energia do produto unitário	Tático	Sistema	Desempenho	Reflete o consumo de energia do sistema de fabricação	SA18	
55	Relação de carga ambiental	Tático	Sistema	Impacto ambiental	Reflete a compatibilidade ambiental do sistema de fabricação	SA19	
56	Índice de descarte de energia	Tático	Sistema	Impacto ambiental	Reflete o nível de utilização dos recursos e o nível de reciclagem do sistema	SA20	
57	Relação da produção de energia residual	Tático	Sistema	Impacto ambiental	Medir o nível de produção mais limpa, o grau de simbiose industrial do sistema de fabricação	SA21	
58	Índice de sustentabilidade baseada na energia	Estratégico	Setorial	Impacto ambiental	Índica a eficiência de produção dos sistemas de manufatura da carga ambiental unitária	SL04	
59	Índice de eficiência energética	Estratégico	Setorial	Desempenho	Desempenho energético do processo	SL05	Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018)
60	Índice de eficiência energética total	Estratégico	Setorial	Resultado	Desempenho total de energia dos processos industriais	SL06	

Contínua

61	Índice ponderado de consumo unitário	Estratégico	Setorial	Desempenho	Desenvolvimento da eficiência energética na indústria	SK07	Pusnik <i>et al.</i> (2017)
62	Custo de energia	Tático	Subsistema	Econômico	O consumo de energia representa o insumo energético em um sistema de processo	SB24	Wang, W. <i>et al.</i> (2017)
63	Custo específico de energia	Tático	Sistema	Econômico	O custo específico de energia representa a energia custo por item fabricado	SA22	
64	Perda de energia	Tático	Subsistema	Perda	O uso de energia associado a etapas de processo	SB25	
65	Avaliação do desempenho operacional dos refrigeradores ativos	Operacional	Equipamento	Desempenho	Avaliar o desempenho operacional dos refrigeradores	EP01	Wang, Y. <i>et al.</i> (2017)
66	Distribuição de carga entre os refrigeradores ativos	Operacional	Equipamento	Desempenho	Índica que a seleção atual dos refrigeradores ativos	EP02	
67	Desempenho operacional dos refrigeradores em geral	Operacional	Equipamento	Desempenho	Potencial total para melhorar o desempenho dos resfriadores.	EP03	
68	Potencial de poupança de energia	Operacional	Equipamento	Desempenho	Desempenho dos refrigeradores em geral	EP04	
69	Índice de Eficiência Energética de fator total	Estratégico	Regional	Desempenho	Medida regional de eficiência energética	RE02	Özkara e Atak (2015)
70	Índice de Custo	Tático	Subsistema	Econômico	Monitoramento da eficiência energética e recurso do processo	SB26	Papetti <i>et al.</i> (2019)
71	Índice Muda	Tático	Subsistema	Recurso	Apoiar quantitativamente a identificação de críticas relacionadas a atividades, processos, linhas, plantas, etc.,	SB27	
72	Eletricidade usada na produção	Tático	Subsistema	Processo	A eletricidade usada no processo de fabricação de bateria	SB28	Morejón <i>et al.</i> (2019)
73	Eletricidade consumida na formação de lotes	Tático	Subsistema	Processo	Medir ou determinar a energia consumida no processo de formação de cada lote de bateria	SB29	
74	Energia consumida no intervalo	Tático	Subsistema	Processo	Consumo de eletricidade nos processos de formação dos lotes de baterias	SB30	
75	Coefficiente de desempenho para aquecimento	Operacional	Equipamento	Desempenho	A bomba de calor de alta temperatura pré-aqueceu o ar	EP05	Bühler <i>et al.</i> (2019)
76	Comparação do desempenho	Operacional	Equipamento	Desempenho	Comparar o desempenho da bomba de calor	EP06	
77	Consumo de energia por máquina	Operacional	Máquina	Desempenho	Consumo de energia de cada estado da máquina	MA05	Hibino; Horikawa e Yamaguchi (2019)
78	Consumo de energia de produção da máquina	Operacional	Máquina	Processo	Quantidade de produção pela máquina	MA06	
79	Custo de energia por produto produzido	Tático	Sistema	Econômico	O consumo de energia da usina de acabamento na fábrica	SA23	Pelser; Vosloo; Mathews (2018)
80	Intensidade de custo de energia	Tático	Sistema	Econômico	O custo de consumo de uma unidade de energia	SA24	
81	Redução do consumo de energia	Estratégico	Setorial	Impacto ambiental	Redução do consumo de energia Petroquímica	SL08	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)

Contínua

82	Redução na intensidade de carbono	Estratégico	Setorial	Impacto ambiental	Reduções no consumo de energia entre produtos e fábricas	SL09	Tantisattayakul <i>et al.</i> (2016)
83	Redução na intensidade energética	Estratégico	Setorial	Desempenho	Reduções no consumo de energia entre produtos e fábricas	SL10	
84	Custo de investimento anual equivalente	Estratégico	Setorial	Econômico	Redução do consumo de energia no custo de investimento anual da indústria	SL11	
85	Custo de redução de emissões de gases de efeito estufa	Estratégico	Setorial	Impacto ambiental	O custo de redução de GEE na indústria	SL12	
86	Eficiência exergética da produção	Tático	Sistema	Resultado	Avaliar as características de operação do sistema	SA25	Han e Guo (2018)
87	Consumo abrangente de energia	Tático	Sistema	Processo	A energia total exigida pelo sistema de usinagem	SA26	Tuo <i>et al.</i> (2018)
88	Utilização abrangente de energia	Tático	Sistema	Processo	Reflete a utilização média de energia do sistema de usinagem	SA27	
89	Uso relativo de eletricidade ociosa	Tático	Subsistema	Perda	Medição do consumo de energia elétrica ociosa na produção	SB31	Mahapatra <i>et al.</i> (2017)
90	Consumo de eletricidade	Tático	Subsistema	Processo	Analisar o processo de maior consumo de eletricidade na produção	SB32	Zhang <i>et al.</i> (2017)
91	Consumo de energia elétrica	Operacional	Máquina	Resultado	O consumo de energia elétrica de uma máquina-ferramenta em relação ao tempo	MA07	Wilson <i>et al.</i> (2016)
92	Uso de energia de máquina individual	Operacional	Máquina	Desempenho	O uso de energia de uma máquina individual em durante o período	MA08	
93	Consumo de energia sem valor agregado	Tático	Subsistema	Perda	O consumo de energia de sistemas de fabricação	SB33	Baysan <i>et al.</i> (2019)
94	Energia consumida na produção excedente	Tático	Subsistema	Perda	Energia consumida para produzir a quantidade excedente no processo	SB34	
95	Energia consumida no transporte e manuseio	Tático	Subsistema	Perda	Os resíduos de transporte e manuseio são calculados com base no número de viagens entre os processos	SB35	
96	Consumo de energia de estoque	Tático	Subsistema	Perda	O consumo de energia devido à espera de produção	SB36	
97	Energia consumida do retrabalho	Tático	Subsistema	Perda	Consumo de energia devido ao desperdício de retrabalho no processo	SB37	
98	Consumo de energia na produção	Tático	Subsistema	Processo	O consumo de energia na produção de cimento	SB38	Liu <i>et al.</i> (2018)
99	Consumo de energia no acionamento	Operacional	Componente	Operação	Desempenho dos componentes móveis	CP04	Ji <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Autoria Própria (2021).

APÊNDICE D – Carta de apresentação

Prezado,

Meu nome é Gislayne de Souza de Lima e sou mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PGP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Francielle Cristina Fenerich (UEM).

Venho por meio desta, solicitar a sua participação na avaliação, por meio de um questionário estruturado, da pesquisa que compõe parte da minha dissertação.

O objetivo do questionário é realizar a avaliação da concordância em relação as categorias e subcategorias de indicadores de eficiência energética utilizados em ambientes industriais, sendo esta a proposta na dissertação.

Declaramos que as informações prestadas serão tratadas de forma a preservar a privacidade dos participantes.

Aguardamos o seu retorno e agradecemos antecipadamente pela colaboração.

Atenciosamente,

Gislayne de Souza de Lima

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PGP)
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

APÊNDICE E – Roteiro da entrevista

– Apresentação Pessoal.

– Agradecimento, apresentação do tema e autorização para gravação da entrevista.

A entrevista será usada apenas para fins acadêmicos, garantindo também critérios de anonimato, caso seja de sua vontade. Peço a sua autorização para gravar a entrevista. Caso tenha alguma coisa que, durante a entrevista, você não queira que seja publicado ou mesmo transcrito, pode manifestar-se e a sua vontade será respeitada. Você autoriza e concorda com a gravação da entrevista? Existe alguma restrição prévia que você gostaria de manifestar?

– O tempo de desenvolvimento da entrevista será de aproximadamente 1h a 1h30m.

– Apresentação do objetivo da entrevista.

– Apresentação das especificidades da entrevista.

- 1) Apresentação do estudo;
- 2) Termo de consentimento;
- 3) Caracterização do participante;
- 4) Apresentação da pesquisa;
- 5) Avaliação da pesquisa;

APÊNDICE F – Termo de consentimento

TERMO DE CONSENTIMENTO

Esta pesquisa é intitulada “CATEGORIZAÇÃO DOS INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADOS A SETORES DA MANUFATURA” e está sendo desenvolvida por GISLAYNE DE SOUZA DE LIMA, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual do Paraná, sob a orientação da Prof^a. Dr^a. FRANCIELLE CRISTINA FENERICH.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso decida não participar do estudo, não sofrerá nenhum dano ou prejuízo. Os pesquisadores estarão a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Declaro que fui informado(a) dos seguintes pontos:

1. Objetivos e da relevância do estudo proposto: o trabalho tem por objetivo obter a visão dos profissionais da indústria a respeito da categorização de indicadores de eficiência energética em ambientes de manufatura propostas neste estudo.
2. A participação nesta pesquisa consistirá em responder ao questionário sobre a avaliação da categorização dos indicadores, com duração prevista de para o preenchimento da avaliação.
3. Ao participar desse trabalho estarei contribuindo diretamente para a área acadêmica por meio do meu conhecimento e experiência e indiretamente para a indústria, uma vez que o objetivo da pesquisa é proporcionar novos conhecimentos para a mesma.
4. Não terei nenhuma despesa financeira ao participar da pesquisa e poderei deixar de participar ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e não sofrerei qualquer prejuízo.
5. Fui informado e estou ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar por minha participação.
6. Meu nome será mantido em sigilo, assegurando assim a minha privacidade e se eu desejar terei livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências.

Eu, _____, CPF nº _____ declaro o meu consentimento em participar da pesquisa, como também concordo que os dados obtidos na investigação sejam utilizados para fins científicos (divulgação em eventos e publicações). Estou ciente que receberei uma via desse documento e não possuo conflito de interesse nesta pesquisa.

Maringá, ____ de _____ de 2021.

Assinatura do participante

Assinatura do pesquisador responsável

Contato da Pesquisadora Responsável:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, pedimos a gentileza de entrar em contato com o responsável da pesquisa Gislayne de Souza de Lima, (44) 99970-7302, e-mail gislaynelimasouza@gmail.com ou com a pesquisadora Francielle Cristina Fenerich, e-mail: fcfenerich@uem.br.

APÊNDICE G – Caracterização do participante

Nome da Empresa pertencente (atual): _____
Área de graduação: _____ Ano de conclusão: _____
Área de atuação: <input type="checkbox"/> Indústria <input type="checkbox"/> Academia/pesquisa <input type="checkbox"/> Consultoria <input type="checkbox"/> outro _____
Possui Pós-graduação: <input type="checkbox"/> Especialização <input type="checkbox"/> Mestrado <input type="checkbox"/> Doutorado <input type="checkbox"/> Pós-doutorado
Instituição de formação (maior titulação): _____
Tempo de experiência profissional: <input type="checkbox"/> Menos do que 1 ano <input type="checkbox"/> Entre 1 e 5 anos <input type="checkbox"/> Entre 5 e 10 anos <input type="checkbox"/> Mais do que 10 anos
Possui conhecimento sobre a área de Eficiência Energética?

Possui conhecimento sobre Indicadores de Eficiência Energética?

APÊNDICE H – Apresentação do estudo

O intuito do estudo é propor a categorização dos indicadores de eficiência energética, com uma estrutura de categorização, que tem como objetivo direcionar a seleção de indicadores em ambientes industriais.

A contribuição da pesquisa está relacionada as categorias constituídas e sua relação com as áreas de medição da manufatura, como instrumento para orientação na escolha e definição de indicadores.

Para o desenvolvimento do estudo da pesquisa é realizado uma revisão sistemática de literatura sobre o tema, análise de conteúdo para a identificação das categorias dos indicadores e a definição de uma estrutura de classificação.

São apresentados nesse documento a estrutura de categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados ao setor industrial e os indicadores selecionados na literatura.

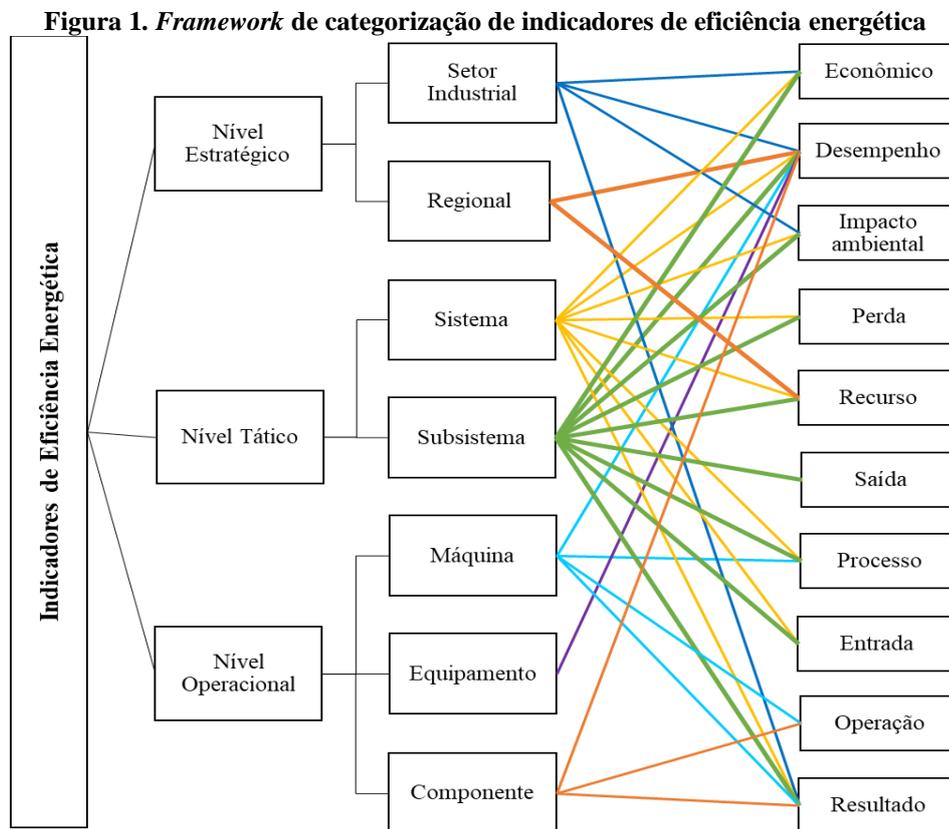
Framework de categorização dos indicadores de eficiência energética aplicados na manufatura

A categorização ou classificação de documentos foi realizada com o intuito de conferir a esses documentos uma ou mais classes, e assim então classificá-los e separá-los em grupos (BLEIK *et al.*, 2013), de acordo com suas características de semelhança ou diferenciação. A categorização possibilita o agrupamento de documentos que apresentem características comuns, garantindo, assim, a recuperação de grupos que apresentem um relacionamento independente da presença de termos iguais (MEIRELES E CENDÓN, 2011).

A estrutura representa os níveis de medição da eficiência energética na manufatura, de uma rede hierárquica para representar a análise da eficiência energética. A construção de uma estrutura de indicadores teve como ponto de partida a caracterização destes indicadores eficiência energética identificados na literatura.

Essa estrutura (figura 1) estabelece uma ligação entre a estratégia da organização, níveis de hierarquia estratégica e dos setores de aplicações dos indicadores de eficiência energética na indústria. A identificação e organização dos diferentes indicadores de acordo com Costa (2003), favorece a integração dos objetivos da organização com as medidas de desempenho voltadas ao nível operacional. Pois é necessário construir uma visão compartilhada das estratégias da organização, sendo importante desenvolver e comunicar o sentido claro do propósito da organização (BARTLETT E GHOSHAL, 2001).

A classificação dos indicadores de eficiência energética no setor industrial é desenvolvida com base nos estudos relacionados na revisão sistemática e atividades correlatas nesses estudos. Sendo os indicadores de eficiência energética classificados de acordo com o foco de aplicação nos níveis hierárquicos de medição, que são os níveis estratégico, tático e operacional (TEZZA, BORNIA E VEY, 2010). Conforme afirmam Heylen, Deconinck e Van Hertem (2018, p.555): “os níveis hierárquicos determinam as instalações e/ou o sistema em que indicador está focado”, assim, os indicadores de acordo com Farla e Blok (2000) podem ser aplicados a uma variedade de níveis, desta maneira os indicadores ainda são categorizados em níveis, no que diz respeito em termos de funções e uso de energia, que são: setorial e regional; sistemas e subsistemas, e máquinas, equipamentos e componentes, que também retratam uma hierarquia de indicadores de energia.



Para o nível estratégico os indicadores se concentram em setoriais e regionais, estão ligados a abordagens focadas em aspectos vinculados às estratégias subjacentes ao negócio, o qual é o primeiro mecanismo do *framework* conceitual, a estrutura e centralização da tomada de decisão. Os indicadores em questão referem-se à intensidade e produtividade energética, o uso de energia, o nível de consumo de energia, abordam a sustentabilidade, as emissões de gases de efeito estufa e a emissão de poluentes.

O nível tático está ligado ao monitoramento das variações no desempenho do sistema, mensuração de grupos de indivíduos ou processos (De Soárez, Padova e Ciconelli, 2005) e são derivados de seus processos centrais de ponta a ponta, relacionado as operações de entrada, consumo e saída dos sistemas. Neste nível encontram-se indicadores de sistemas e subsistemas da manufatura, ligados a abordagens focadas ao monitoramento das variações no desempenho operacional, mensuração de processos e operações de controle. Os indicadores desse nível buscam o melhor desempenho energético no sistema, entrada, processamento e saída, para que os objetivos macros sejam atendidos.

Os indicadores de nível operacional, correspondem as medições de curto prazo, que necessitam de acompanhamento regular. Eles estão ligados os mecanismos de operação, ou unidades dos processos, a qual divide o uso e medição da eficiência energética de um sistema em partes menores (Kostevšek *et al.*, 2013). No nível operacional, para Kara, Bogdanski e Li (2011), a medição ou monitoramento dos valores está relacionada as unidades funcionais dentro do processo, que permite obter uma imagem de como os elementos operam no nível do chão de fábrica. Os indicadores operacionais expressam as relações de operação das indústrias, analisando o consumo, utilização de máquinas, equipamentos e componentes que compõem o sistema produtivo, compostos por os indicadores relacionados a componentes, equipamentos e máquinas.

APÊNDICE I – Avaliação do *Framework* de categorização

A avaliação do *Framework* de categorização dos indicadores de eficiência energética, envolve quatro etapas: avaliação das categorias, avaliação das subcategorias, avaliação das relações entre as categorias e subcategorias e avaliação do *Framework*. Durante cada fase, você poderá sugerir e opinar se os itens realmente são relevantes, pertencem ao domínio correspondente.

A) AVALIAÇÃO DAS CATEGORIAS NO NÍVEL ESTRATÉGICO

Utilize a escala sobre concordância SIM ou NÃO para cada um dos tópicos, assinalando um X no campo correspondente. Havendo ainda um campo livre para também fazer sugestões ou comentários.

Quanto ao atributo, foi proposto a avaliação do conteúdo quanto a relevância. Portanto, considere o conceito de relevância conforme descrito abaixo:

Relevância: a informação está adequada para atingir os objetivos propostos;

1. Categorias: Setorial

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

2. Categorias: Regional

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

B) AVALIAÇÃO DAS CATEGORIAS NO NÍVEL TÁTICO

1. Categorias: Sistema

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
-----------------------------------	--	--	---	--	--

Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

2. Categorias: Subsistema

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

C) AVALIAÇÃO DAS CATEGORIAS NO NÍVEL OPERACIONAL

1. Categorias: Máquina

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

2. Categorias: Equipamento

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

3. Categorias: Componente

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

D) AVALIAÇÃO DAS SUBCATEGORIAS

Utilize a escala sobre concordância SIM ou NÃO para cada um dos tópicos, assinalando um X no campo correspondente. Havendo ainda um campo livre para também fazer sugestões ou comentários.

Quanto aos atributos, foi proposto a avaliação do conteúdo quanto a relevância. Portanto, considere o conceito de relevância conforme descrito abaixo:

Relevância: a informação está adequada para atingir os objetivos propostos;

Subcategoria: Econômico

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Entrada

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Desempenho

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Impacto ambiental

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
-----------------------------------	--	--	---	--	--

Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Operação

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Perda

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Processo

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Recurso

Você concorda com essa categoria?			<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Subcategoria: Resultado

Você concorda com essa categoria?		<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____

Subcategoria: Saída

Você concorda com essa categoria?		<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Em caso de negativa, justifique:					
Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

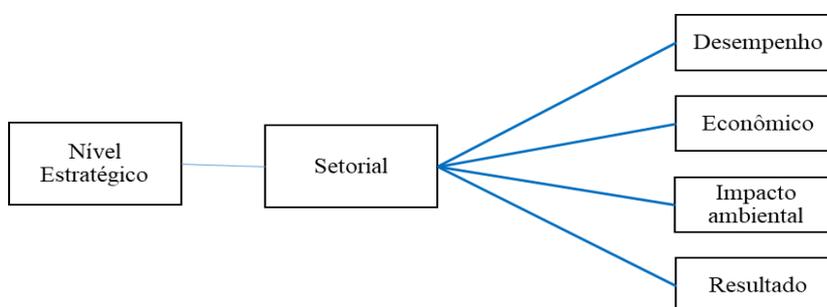
Comentário: _____

E) AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS CATEGORIAS E SUBCATEGORIAS

Utilize a escala sobre concordância SIM ou NÃO para cada um dos tópicos, assinalando um X no campo correspondente. Havendo ainda um campo livre para também fazer sugestões ou comentários.

1. Categoria: Setorial

Subcategorias relacionadas: econômico, desempenho, impacto ambiental e resultado.

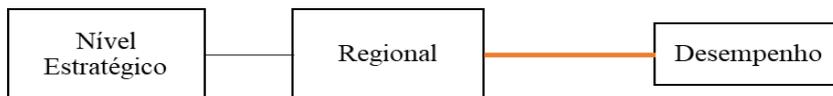


Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Econômico?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Impacto Ambiental?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Resultado?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

Comentário: _____

2. Categoria: Regional

Subcategorias: desempenho.

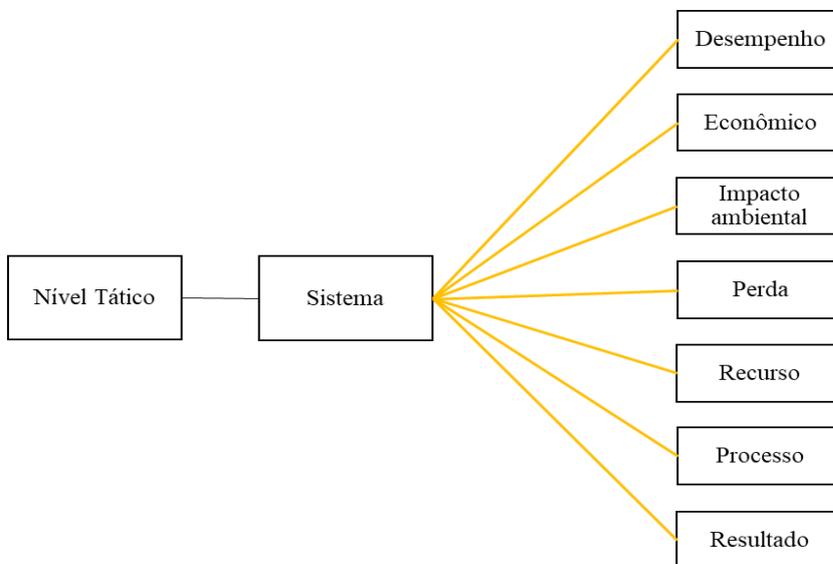


Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

Comentário: _____

3. Categoria: Sistema

Subcategorias: econômico, desempenho, impacto ambiental, perda, recurso, processo e resultado.

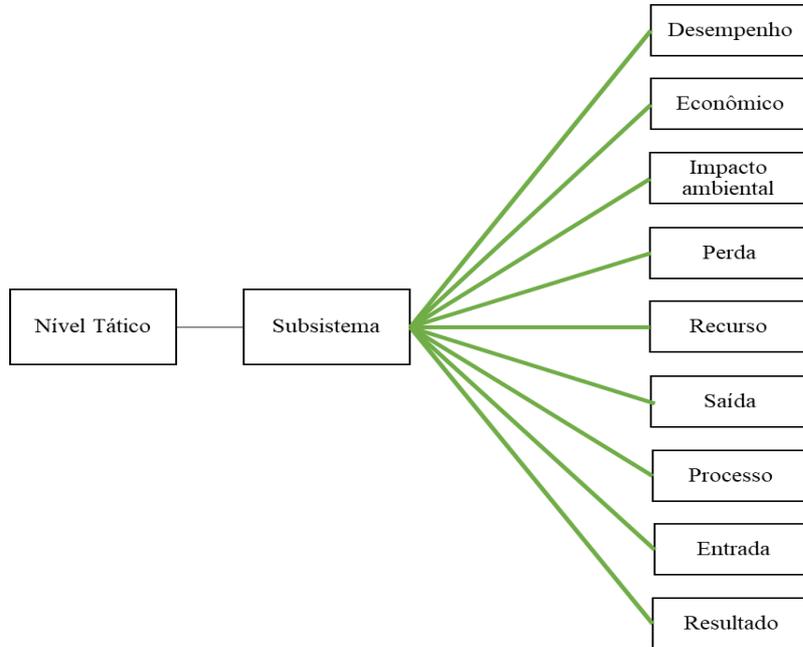


Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Econômico?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Impacto Ambiental?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Perda?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Recurso?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Processo?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Resultado?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

Comentário: _____

4. Categoria: Subsistema

Subcategorias: econômico, desempenho, impacto ambiental, perda, recurso, saída, processo, entrada e resultado.

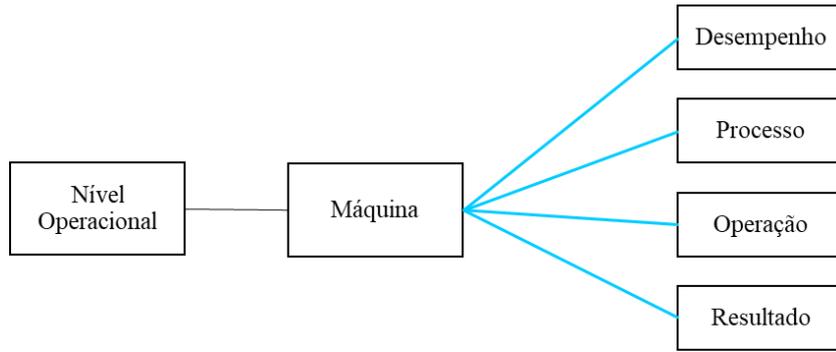


Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Econômico?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Impacto Ambiental?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Perda?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Recurso?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Saída?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Processo?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Entrada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Resultado?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

Comentário: _____

5. Categoria: Máquina

Subcategorias: desempenho, processo, operação e resultado.

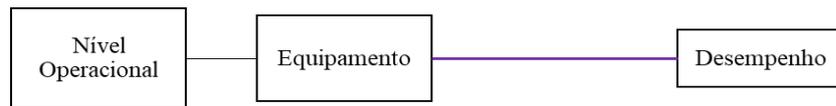


Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Processo?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Operação?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Resultado?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

Comentário: _____

6. Categoria: Equipamento

Subcategoria: Desempenho.

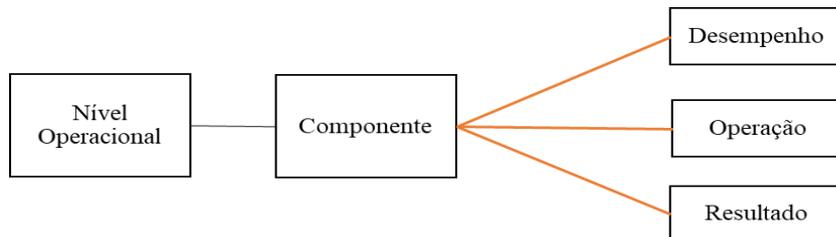


Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

Comentário: _____

7. Categoria: Componente

Subcategorias: Desempenho, Operação e Resultado



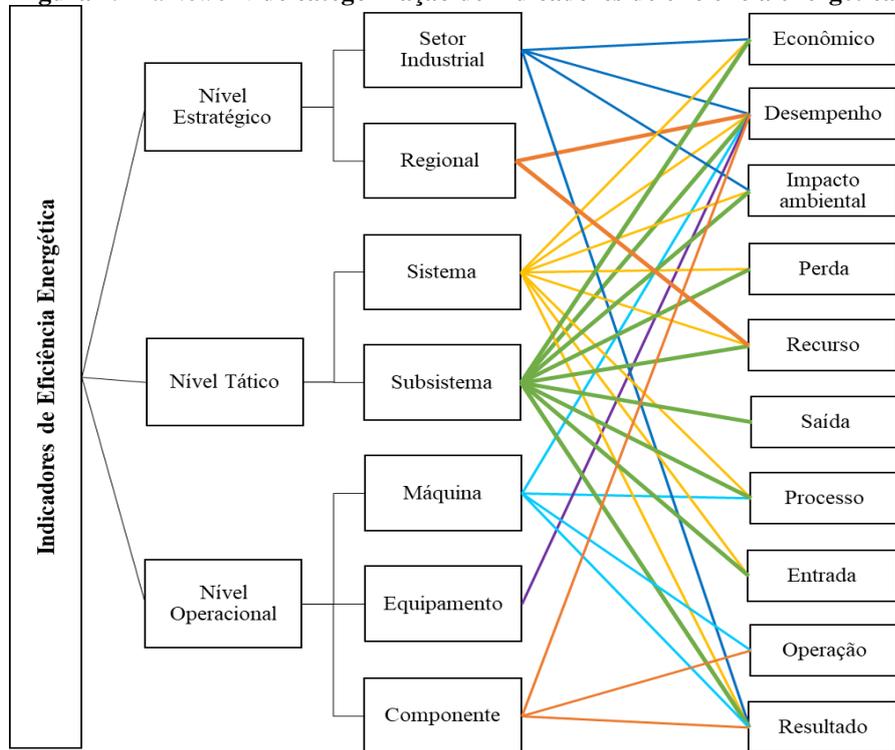
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Desempenho?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
---	---

Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Operação?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Você concorda com a relação dessa categoria com a subcategoria: Resultado?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Em caso de negativa, justifique:	

F) AVALIAÇÃO DO *FRAMEWORK*

Avalie os aspectos de: clareza, formato, usabilidade e relevância do *Framework* proposto na pesquisa e apresentado na Figura 1. Durante cada fase, você poderá comentar e fazer sugestões quanto aos aspectos a serem avaliados.

Figura 1. Framework de categorização de indicadores de eficiência energética



Clareza: a informação é facilmente entendida e expressa adequadamente o que se espera medir?

Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Clareza					

Comentário: _____

1. Formato do *framework*: o formato do *framework* (Figura 1) está claro e adequado?

Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Formato					

Comentário: _____

2. Usabilidade: o *framework* proposto é útil para nortear as decisões de indústrias quanto a Gestão de Eficiência Energética?

Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Usabilidade					

Comentário: _____

3. Relevância: o *framework* é importante para compreensão das dimensões alcançadas pela Eficiência Energética e suas possibilidades de medição por meio dos indicadores?

Aspecto de avaliação	Concordo fortemente	Concordo	Não concordo nem discordo	Discordo	Discordo fortemente
Relevância					

Comentário: _____
